MUSTALAMMEN POHJAVESI-LAITOKSEN KÄYTTÖÖNOTTO JA TALOUSVEDEN LAADUN-VARMISTUS

Linda Vikman

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

VIKMAN, LINDA:
Mustalammen pohjavesilaitoksen käyttöönotto ja talousveden laadunvarmistus

Opinnäytetyö 81 sivua, josta liitteitä 10 sivua
Toukokuu 2012

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli Mustalammen pohjavesilaitoksen käyttöönottoon kuuluva talousveden laadunvarmistus. Talousveden laadunvarmistus suoritettiin näytteenoton ja vesianalyysien avulla. Econet Oy rakensi Mustalammen pohjavesilaitoksen. Rakennustyöt aloitettiin marraskuussa 2010 Tampereen Villilässä, ja laitos alkoi pumpata vettä verkostoon maaliskuussa 2012. Vedenkäsittelyn prosessivaiheisiin kuuluu kaivopumppaus, ilmastus, hiekkasuodatus, huuhteluvesien käyttö, alavesisäiliö, verkostopumppaus ja desinfiointi. Opinnäytetyössä seurattiin veden laatua tammikuusta 2012 alkaen laitoksen ylösajovaiheen ja käyttöönottovaiheen aikana. Puhtaan veden laadun on täytettävä sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (461/2000) mukaiset laatuvaatimukset ja -suositukset sekä Tampereen Veden omat laatuvaatimukset.

Kun näytteenotto aloitettiin, kaivovesissä esiintyi pieniä pitoisuuksia trikloorieteeniä ja tetrakloorieteeniä. Lisäksi kaivovesissä oli korkeita bakteeripitoisuuksia sekä hieman rautaa ja mangaania. Trikloorieteeni, tetrakloorieteeni ja rauta poistettiin vedestä ilmastustorneissa. Lisäksi rauta ja mangaani poistettiin vedestä hiekkasuodatuksessa. Bakteerit poistettiin vedestä shokkiklooramalla. Mustalammen pohjavesilaitoksen veden laatu täyttää nykyisin kaikki sille asetetut laatuvaatimukset ja -suositukset.

Mustalammen pohjavesilaitoksen prosessi on toimiva. Lähtevän veden kloori on hyvällä tasolla, ja veden pH on tasainen. Mustalammen pohjavedenottamo tuottaa vettä kuluttajille Epilä-Villilään ja Tesomalle. Mustalammen pohjavesilaitos on miehittämätön laitos, jota ohjataan kaukokäytöllä Tampereen Veden Ruskon toimipisteestä. Laitokselta otetaan tulevaisuudessa vesinäytteitä lähes päivittäin. Mustalammen pohjavesilaitoksen veden laatua seurataan kuten muidenkin Tampereen Veden pohjavesilaitosten veden laatua, ja mahdollisiin poikkeamiin ollaan valmiita reagoimaan.

Asiasanat: veden laadunvarmistus, vedenkäsittelyn prosessivaiheet, veden laatuvaatimukset, shokkiklooraus.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical engineering

VIKMAN, LINDA:
Mustalampi Groundwater Plant's Systematic Quality Assurance of Household Water

Bachelor's thesis 81 pages, appendices 10 pages
May 2012

The purpose of this thesis was Mustalampi groundwater plant's quality assurance of household water related to the plant's implementation. Quality assurance of water was performed by sampling and water analysis. Econet Ltd built Mustalampi groundwater plant. Construction work began in November 2010 in Villilä Tampere, and station started to pump water into the network in March 2012. The process stages of water treatment are well pumping, aeration, sand filtration, rinse water utilization, lower water container, network pumping and disinfection. The quality of water was studied from the very beginning of January 2012 during the startup period and initialization. The quality of pure water must fulfil the quality requirements and quality recommendations of Ministry of Social Affairs and Health's regulation (461/2000) and Tampere Water's own quality requirements.

When we started to take samples, well water contained small amounts of trichloroethene and tetrachloroethene. In addition, there were elevated bacterial contents and a little bit of iron and manganese in the well water. Trichloroethene, tetrachloroethene and iron was removed from the water in aeration towers. In addition, iron and manganese was removed from the water in sand filtration. Bacteria were removed from the water with chock chlorination. The waterquality of Mustalampi groundwater plant fullfils nowadays all the quality requirements, that have been set.

Mustalampi groundwater plant's process is workable. Chlorine is in a good level and pH value is constant in the outgoing water. Mustalampi groundwater intake plant provides water to consumers at Epilä-Villilä and Tesoma. Mustalampi groundwater plant is an unmanned plant which is controlled with remote use from Tampere Water's outlet of Rusko. In the future, water samples will be taken from the plant almost daily. Mustalampi groundwater plant's waterquality will be followed like the waterquality of any other Tampere Water's groundwater plant, and staff is ready to react if any deviation would occur.

Key words: quality assurance of water, process stages of water purification, quality requirements of water, chock chlorination.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 8
2 MUSTALAMMEN POHJAVESILAITOS 9
2.1 Näytteiden analysointi 10
3 VEDEN LAATUVAATIMUKSET 11
3.1 Talousveden laatua määrittävät lait ja asetukset 11
3.2 Mikrobiologiset laatuvaatimukset ja -suositukset 12
3.3 Kemialliset laatuvaatimukset ja -suositukset 12
3.4 Raakaveden laatu 13
3.5 Puhtaan veden laatuvaatimukset 14
3.6 Pohjavesi 15
3.6.1 Pohjaveden laatu 17
4 MUSTALAMMEN POHJAVESILAITOKSEN PROSESSIKUVAUS 18
4.1 Kaivopumppaus 19
4.2 Ilmastustornit 20
4.3 Hiekkasuodatus 22
4.4 Alavesisäiliö 23
4.5 Verkostopumppaus 24
4.6 Desinfiointi 24
4.6.1 UV-desinfiointi 25
4.6.2 Natriumhypokloriitti 26
4.6.3 Shokkiklooraus 26
4.6.4 Shokkiklooraus Mustalammen pohjavesilaitoksella 27
4.6.5 CT-arvo 28
4.7 Laajennusvaraukset 30
5 NÄYTTEENOTTO 31
5.1 Näytteenottovälineet 31
5.2 Näytteenottopisteet 33
5.3 Näytteenottotiheys 35
5.4 Mustalammen pohjavesilaitoksen ylösajovaihe 36
5.5 Mustalammen pohjavesilaitoksen käyttöönottovaihe 36
5.6 Näytteenoton suoritus 37
5.6.1 Näytteenotto mikrobiologisia tutkimuksia varten 37
5.6.2 Näytteenotto kemiallisia tutkimuksia varten 38
6 VESIANALYYSIT 39
6.1 Mikrobiologiset vesianalyysit 39
6.1.1 Koliformiset bakteerit ja Escherichia coli 39

6.1.2 Lämpökestoiset koliformiset bakteerit 41
6.1.3 Enterokokit 42
6.1.4 Pesäkeluku (22 °C ja 37 °C) 42
6.1.5 Hiivat ja homeet 43
6.2 Kemialliset analyysit 44
6.2.1 Rauta ja mangaani 44
6.2.2 Kloori 46
6.2.3 Hiilidioksidi ja alkaliteetti 48
6.2.4 pH 50
6.2.5 Sähkönjohtokyky 52
6.2.6 Sameus ja väri 52
6.2.7 Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) 54
6.2.8 Trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni 55
7 VESIANALYYSIEN TULOKSET 57
7.1 Näytteenotto kaivovesistä 57
7.2 Näytteenotto kaivovesistä 11.1.2012 58
7.3 Näytteenottopäivä 2.2.2012 60
7.4 Arseeni, antimoni, TCE ja PCE 61
7.5 Näytteenottopäivä 30.3.2012 62
7.6 Ylösajovaiheen, käyttöönottovaiheen ja käynnissä olevan laitoksen tuloksia 62
7.6.1 Puhtaan veden rauta ja mangaani ylösajovaiheen aikana 63
7.6.2 Puhtaan veden rauta ja mangaani käynnistysvaiheen jälkeen 63
7.6.3 Raakaveden rauta, mangaani, pH ja pH laitoksella 64
7.6.4 Puhtaan veden tulokset 65
7.6.5 Vesianalyysien tulosten vaihteluvälit 66
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA 68
LÄHTEET 70
LIITTEET 72
Liite 1. Näytteenotto 3.1.2012 72
Liite 2. Näytteenotto 2.2.2012, trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni 73
Liite 3. Näytteenotto 2.2.2012 74
Liite 4. Näytteenotto 30.3.2012 75
Liite 5. Laaja määritys 76
Liite 6. Puhtaan veden tuloksia ylösajovaiheen aikana 77
Liite 7. Puhtaan veden tuloksia käynnistysvaiheen jälkeen 78
Liite 8. Kaivojen tulosten vaihteluvälit 79
Liite 9. Tulosten vaihteluvälit 80
Liite 10. Mustalammen pohjavesilaitoksen PI-kaavio 81

LYHENTEET JA TERMIT

Absorptio	Absorptio tarkoittaa aineen imeytymistä johonkin pintaan.
CT-arvo	CT-arvo tarkoittaa lukuarvoa, joka saadaan veden jäännösklooripitoisuuden (mg/l) ja shokkikloorauksen kuluvan ajan tulosta.
Indikaattoribakteerit	Indikaattoribakteerit osoittavat bakterologisen haitan. Esimerkiksi E. coli on ulosteperäisen saastutuksen indikaattoribakteeri.
Kaivovesi	Kaivovesi on raakavettä, jota pumpataan läheiseltä pohjavesialueelta.
K-O-A kytkin	K-O-A kytkin on katkaisija, jossa on kolme asentoa. K on käsi, O on nolla ja A on automaatti.
Kolloidit	Aine on kolloidimuodossa, mikäli hiukkaset eivät enää liiku dispersioväliaineessa ainoastaan painovoiman vaikutuksesta eivätkä pitkänkään ajan kuluttua erotu pinnalle tai pohjaan tiheyserojen vaikutuksesta. Kolloidimuodossa olevan hiukkasen koko on noin 10^{-3}–10^{-6} mm. Jos kolloidien väliaineena on vesi, puhutaan hydrosoolista.
Lähtevä vesi	Mustalammen laitokselta verkostoon lähtevä vesi
MU Epilä-Villilä	Mustalammen laitoksen vesi, joka pumpataan Epilä-Villilään
MU hiekkasuodatus	Mustalammen laitoksen hiekkasuodatettu vesi
MU ilmastus	Mustalammen laitoksen ilmastettu vesi
MU puhdas	Mustalammen laitoksen puhdas vesi
MU raaka	Mustalammen laitoksen raakavesi
MU Tesoma	Mustalammen laitoksen vesi, joka pumpataan Tesomalle
Shokkiklooraus	Shokkiklooraus tarkoittaa vesilaitoksen kaikkien osien kloorausta natriumhypokloriitilla. Klooripitoisuuden arvo nostetaan hetkellisesti korkeaksi.
TCE ja PCE	Trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni ovat kemiallisia epäpuhtauksia, jotka poistettiin vedestä ilmastustorneissa.
TOC	Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (Total organic carbon)
STM 461/2000	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000
pmy	pesäkettä muodostava yksikkö

Pohjavesi	Pohjavesi muodostuu maahan sataneesta vedestä tai pintavedestä, joka imeytyy maakerrosten läpi.
Verkostovesi	Mustalammen laitokselta lähtenyt talousvesi, joka on vesijohtoverkostossa.
WHO	WHO (World Health Organization) on maailman terveysjärjestö, joka pyrkii kehittämään ja tukemaan eri maiden terveyspolitiikkaa.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on Mustalammen pohjavesilaitoksen talousveden laadun varmistaminen. Veden laatu varmistettiin näytteenoton ja vesianalyysien avulla. Veden laatua seurattiin laitoksen ylösajovaiheen ja käyttöönottovaiheen aikana. Mustalammen pohjavesilaitoksen puhtaan veden laadun on täytettävä sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (461/2000) mukaiset laatuvaatimukset ja -suositukset sekä Tampereen Veden omat, vielä tiukemmat laatuvaatimukset.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen Vedelle ja sen ohjaajina Tampereen Vedeltä olivat projekti-insinööri Veli-Ville Vihersalo ja laboratorioanalyytikko Sinikka Vilenius. Tamkin ohjaajana oli Maarit Korhonen.

Opinnäytetyössä tehtiin prosessisuunnitelma, näytteenottosuunnitelma sekä käytettiin SFS-standardin mukaisia, STM 461/2000:n hyväksymiä tutkimusmenetelmiä. Näytteet otettiin näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Prosessisuunnitelma on opinnäytetyössä prosessinkuvaus, joka perustuu toiminta- ja mitoitusselostukseen. Opinnäytetyössä käsitellään prosessin kuvauksen lisäksi näytteenoton periaatteet ja vesianalyysien tulokset. Mustalammen laitoksen prosessivaiheisiin kuuluu kaivopumppaus, ilmastus, jatkuvatoiminen hiekkasuodatus, huuhteluvesien käyttö, alavesisäiliö, verkostopumppaus ja desinfiointi. Desinfiointi käsittää ultraviolettivalon ja natriumhypokloriitin.

Tampereen Vesi omistaa Mustalammen pohjavesilaitoksen. Econet Oy on Mustalammen pohjavesilaitoksen päärakennuttaja. Rakennustyöt aloitettiin marraskuussa 2010, ja laitos alkoi pumpata talousvettä verkostoon kuluttajille maaliskuussa 2012. Mustalammen pohjavedenottamo sijaitsee Tampereella Villilässä.

Kun näytteenotto aloitettiin, kaivovesissä esiintyi trikloorieteeniä, tetrakloorieteeniä ja kohonneita bakteeripitoisuuksia. Vedessä esiintyi ajoittain myös rautaa ja mangaania. Trikloorieteeni, tetrakloorieteeni, rauta ja vapaa hiilidioksidi poistetaan vedestä ilmastustorneissa. Rauta ja mangaani poistetaan vedestä hiekkasuodatuksessa. Bakteeripitoisuudet saatiin shokkiklooraamalla verkostoveden sallitulle tasolle. Veden laatu täyttää nykyisin kaikki tarvittavat laatuvaatimukset ja -suositukset. Mustalammen laitos tuottaa vettä kuluttajille Tesomalle ja Epilä-Villilään.

2 MUSTALAMMEN POHJAVESILAITOS

Tampereen Vesi omistaa Mustalammen pohjavesilaitoksen. Econet Oy rakensi Mustalammen pohjavesilaitoksen. Laitoksen rakennustyöt aloitettiin marraskuussa 2010, ja laitos alkoi pumpata talousvettä verkostoon kuluttajille maaliskuussa 2012. (ECONET group.)

Nykyisen Mustalammen pohjavesilaitoksen vieressä on vanha Mustalammen vedenottamo, jonka raakavedessä esiintyi trikloorieteeniä ja tetrakloorieteeniä. Tri- ja tetrakloorieteeni tulivat veteen luultavasti lähialueiden teollisuudesta vuosikymmeniä sitten. Vanha vedenottamo on rakennettu 1960-luvulla. Vanha vedenottamo otettiin pois käytöstä ja purettiin, ja uusi Mustalammen pohjavesilaitos rakennettiin vanhan tilalle. Mustalammen pohjavesilaitoksen kapasiteetti kaksinkertaistui reilusti vanhaan laitokseen verrattuna. Mustalammen pohjavedenottamolla puhdistusprosessina on käytössä Econet Oy:n suunnittelema ja toimittama hiekkasuodatusprosessi. Myös uuden laitoksen vedessä esiintyi aluksi tri- ja tetrakloorieteeniä, jotka poistettiin vedestä ilmastustorneissa. (ECONET group; Vihersalo 2012.)

Mustalammen pohjavedenottamo sijaitsee Tampereen Villilässä. Mustalammen pohjavesilaitokselta tuotetaan vettä kuluttajille Epilä-Villilään, Tesomalle ja tarvittaessa myös Nokialle. Kuvassa 1 on Mustalammen pohjavesilaitos.

KUVA 1. Mustalammen pohjavesilaitos (Kuva: Linda Vikman 2012)

2.1 Näytteiden analysointi

Mustalammen pohjavesilaitoksen vesinäytteistä suurin osa tutkitaan Tampereen Veden Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella, joka sijaitsee Tampereen Hervannassa. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksessa on talousvesilaboratorio ja jätevesilaboratorio. Mustalammen pohjavesilaitoksen näytteitä tutkitaan myös Eurofins Scientific Finland Oy:ssä ja Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry:ssä. Ruskon vedenpuhdistuslaitos on nähtävissä alla olevassa kuvassa 2.

KUVA 2. Ruskon vedenpuhdistuslaitos (Tampereen Vesi.)

3 VEDEN LAATUVAATIMUKSET

Tässä luvussa kerrotaan veden laatuvaatimuksista. Aluksi käsitellään talousvettä määrittävät lait ja asetukset. Mikrobiologiset ja kemialliset laatuvaatimukset ja laatusuositukset käsitellään myös. Raakavesi ja puhtaan veden laatuvaatimukset käsitellään erikseen. Lisäksi pohjavettä ja pohjaveden laatua käsitellään tässä luvussa.

3.1 Talousveden laatua määrittävät lait ja asetukset

Mustalammen pohjavedenottamon puhtaan veden on täytettävä sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (461/2000) mukaiset laatuvaatimukset ja -suositukset. Lisäksi puhtaan veden laadun tulee täyttää Tampereen Veden omat puhtaan veden laatuvaatimukset. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Talousveden laatuvaatimukset on määritetty talousvesiasetuksen 461/2000 ja terveydensuojelunlain nojalla. Talousveden asetusta (461/2000) sovelletaan talousveteen, mikäli talousvettä toimitetaan vähintään 10 m^3 päivässä tai vähintään 50 henkilön tarpeisiin. Talousvesiasetusta (461/2000) noudatetaan myös, mikäli talousvettä käytetään elintarvikealan yrityksessä ihmisten tarpeisiin tarkoitettujen aineiden tai tuotteiden valmistukseen. Talousvesiasetusta sovelletaan lisäksi talousvedelle, jota jaetaan käytettäväksi osana kaupallista tai julkista toimintaa. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 2.)

Vedessä ei saa esiintyä pieneliöitä, loisia tai mitään aineita sellaisina määrinä tai pitoisuuksina, joista voisi olla vaaraa ihmisen terveydelle. Mikäli jokin laatuvaatimuksista ei täyty, on terveysriski olemassa. Laatusuositusten ylittyminen on lähinnä teknis-esteettinen haitta. Esimerkiksi liian suuri rautapitoisuus samentaa veden, aiheuttaa veteen ruskeaa väriä ja saostumia putkistoon, mutta ei vielä aiheuta sairastumisia. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 2–3.)

Jokaisella vesilaitoksella tulee STM 461/2000 nojalla olla oma valvontatutkimusohjelma. Kunnan terveydensuojeluviranomainen laatii valvontatutkimusohjelman yhteistyössä vesilaitoksen henkilökunnan kanssa. Valvontatutkimusohjelma sisältää yleistietoa vesilaitoksesta, vesilaitoksen prosessit, riskitekijät, käyttötarkkailun ja valvontatutki-

mussuunnitelman. Valvontatutkimusohjelman mukaiset valvontatutkimukset ovat osa viranomaisvalvontaa. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 4.)

3.2 Mikrobiologiset laatuvaatimukset ja -suositukset

Veden käytöstä johtuvat sairastumiset aiheutuvat Suomessa pääasiassa veden mikrobeista (bakteerit, virukset ja alkueläimet). Viruksia, bakteereita tai alkueläimiä ei voida havaita silmämääräisesti, vaan ainoastaan mikroskoopin avulla. Haitallisia mikrobeja päätyy veteen esimerkiksi ihmisten ja eläinten ulosteista. Veden laatuvaatimukset onkin asetettu sellaisille bakteereille, joita esiintyy ulosteiden saastuttamassa vedessä (Escherichia coli ja Enterokokit). (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 3.)

Koliformisille bakteereille on asetettu laatusuositus, jonka mukaan niitä ei saa esiintyä lainkaan vedessä. Kolibakteereita päätyy veteen esimerkiksi pintavesien päästessä kaivoon sade- tai sulamisvesien johdosta. Veteen päässeet bakteerit tai virukset ovat aiheuttaneet sairastumisia etenkin kevättulvien ja poikkeuksellisten runsaiden sateiden aikaan. Pesäkeluku on veden hygieenistä laatua kuvaava tekijä ja pesäkeluvun suositus on ”ei epätavallisia muutoksia”. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 3.)

3.3 Kemialliset laatuvaatimukset ja -suositukset

Riski sairastua vedessä olevista kemiallisista epäpuhtauksista on pienempi kuin mikrobiologisista epäpuhtauksista. Mikäli laatuvaatimukset ylittäviä kemiallisia epäpuhtauksia esiintyy vedessä, on ryhdyttävä toimenpiteisiin veden laadun parantamiseksi, ja tällöin vettä ei saa toimittaa kuluttajille. Suomessa terveydellisen laatuvaatimusarvon ovat useimmiten ylittäneet fluoridi, nikkeli ja atratsiini (torjunta-aine). Laatusuosituksia ovat Suomessa usein ylittäneet seuraavat käyttöhaitat: rauta, mangaani, ammonium, väri, sameus, haju, maku, pH, hapettuvuus (COD_{Mn}) ja alumiini. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 3–4.)

3.4 Raakaveden laatu

Raakaveden laatua valvotaan vesilaitoksella tehdyn valvontatutkimussuunnitelman mukaisesti. Raakaveden laatua arvioidaan erilaisten vesianalyysien avulla. Raakavedestä tutkitaan rauta, mangaani, TOC, CO_2, pH, alkaliteetti, kalsium, kloridi, sameus, sulfaatti, TCE ja PCE. Lisäksi raakavedestä mitataan lämpötila. TOC on orgaaninen kokonaishiili. TCE on trikloorieteeni ja PCE on tetrakloorieteeni. TCE- ja PCE-määritykset tehdään Eurofins Scientific Finland Oy:n laboratoriossa, joka on eräs Tampereen Veden kanssa yhteistyötä tekevä akkreditoitu laboratorio. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Raakavedestä tehdään myös mikrobiologisia tutkimuksia, jolloin tutkitaan esimerkiksi kokonaispesäkeluku (37 °C), koliformiset bakteerit, fekaaliset kolit, enterokokit, hiivat ja homeet. Koliformiset bakteerit ja pesäkeluku tutkitaan kerran viikossa. Lisäksi fekaaliset kolit, enterokokit, hiivat ja homeet tutkitaan vain 4 kertaa vuodessa. Fekaaliset kolit ovat lämpökestoisia koliformisia bakteereja (44 °C). Laajojen määritysten yhteydessä tutkitaan myös kokonaispesäkeluku (22 °C). Laajat määritykset tehdään kerran kuukaudessa. (Vilenius 2012.)

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1 on esitetty raakavedestä otettavista näytteistä tehtävät analyysit yksikköineen ja mitoitusarvoineen. Mitoitusarvot tarkoittavat verkostoveden kemiallisia pitoisuuksia, joihin Tampereen Vesi pyrkii vedenkäsittelyn avulla. Kalsium tutkitaan Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry:ssä (KVVY), joka on Tampereen Veden kanssa yhteistyötä tekevä akkreditoitu laboratorio. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Raakavedessä saattaa esiintyä erilaisia epäpuhtauksia. Vesinäytteiden rautapitoisuudet johtuvat luultavimmin pumppauksen yhteydessä irronneesta sakasta. Myös saasteaineita ja taudinaiheuttajia saattaa esiintyä raakavedessä, vaikka riski niiden esiintymiselle on pieni. Raakavedelle ei ole olemassa lainsäädännöllisiä laatuvaatimuksia, vaan prosessin puhdistustarvetta arvioidaan raakaveden laadun avulla. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

TAULUKKO 1. Raakaveden laatutiedot ja mitoitusarvot (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Parametri	Yksikkö	Mitoitusarvot
Rauta	mg/l	1,0
Mangaani	mg/l	0,3
TOC	mg/l	1,0-1,5
CO_2	mg/l	50-70
pH	-	-
Alkaliteetti	mmol/l	0,8-1,1
Kalsium	mg/l	23-25
Lämpötila	°C	6-10
Kloridi	mg/l	22-24
Sulfaatti	mg/l	44-50
TCE+PCE	µg/l	25

3.5 Puhtaan veden laatuvaatimukset

Puhtaan veden laadun tulee täyttää sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (461/2000) mukaiset laatuvaatimukset ja -suositukset. Lisäksi puhtaan veden laadun tulee täyttää Tampereen Veden puhtaan veden tavoitetaso. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 2 on esitetty Tampereen Veden tavoitetaso ja STM 461/2000 mukaiset laatuvaatimukset. Puhtaasta vedestä tutkitaan muun muassa rauta, mangaani, CO_2, pH, TCE, PCE, TOC ja sameus. Puhtaasta vedestä mitataan myös lämpötila. Tri- ja tetrakloorieteenien määritykset tehdään Eurofins Scientific Finland Oy:n laboratoriossa. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Puhtaasta vedestä tehdään mikrobiologisia tutkimuksia, jolloin tutkitaan esimerkiksi kokonaispesäkeluku (37 °C). Hiivat ja homeet tutkitaan vain laajoissa tutkimuksissa. Laajojen määritysten yhteydessä tutkitaan myös kokonaispesäkeluku (22 °C). Laajat määritykset tehdään kerran kuukaudessa. (Vilenius 2012.)

Puhtaasta vedestä määritetään lähes päivittäin pH laitoksella ja vapaa kloori laitoksella sekä pH, koliformiset bakteerit (37 °C) ja pesäkeluku (37 °C/ 2d) Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratoriossa. (Vilenius 2012.)

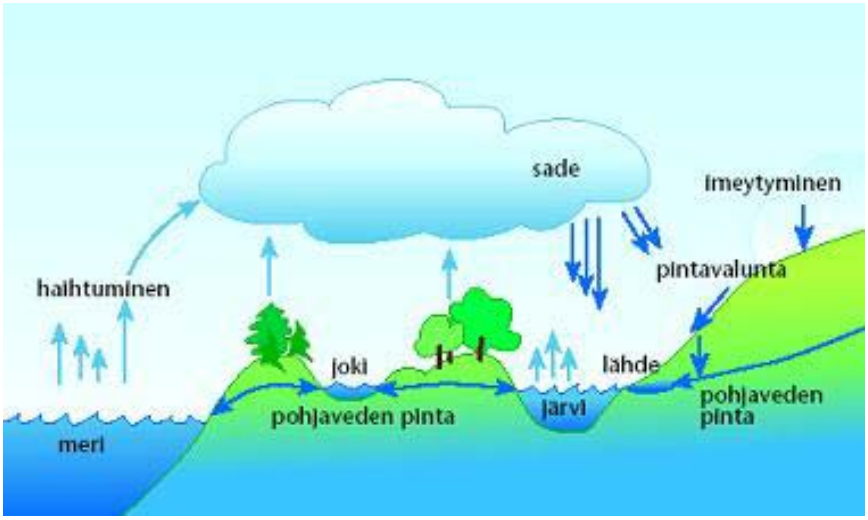
TAULUKKO 2. Puhtaan veden laatu (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

Parametri	**Yksikkö**	**Tavoitetaso**	**STM 461/2000**
Rauta	mg/l	<0,05	<0,2
Mangaani	mg/l	<0,02	<0,05
CO_2	mg/l	<4	-
pH	-	7,5-9,0	6,5-9,5
TCE+PCE	µg/l	<5	<10

3.6 Pohjavesi

Pohjavesi muodostuu sadeveden imeytyessä maaperään, jossa sadevesi liuottaa mineraaleja. Pohjavesialue tarkoittaa maaperän vesikerrosta, josta on mahdollista pumpata pohjavettä. Otettavissa oleva vesimäärä riippuu pohjavesialueen koosta, sadannasta ja kaivojen lukumäärästä. Rantaimeytyminen tarkoittaa sitä, että vedenoton seurauksena pohjaveden pinnankorkeus laskee vesistön pinnankorkeuden alle, ja pintavettä suodattuu pohjavedeksi. Tekopohjaveden muodostuksella tarkoitetaan sitä, että pohjaveden antoisuutta kasvatetaan imeyttämällä pintavettä pohjavesialueelle. Pohjaveden antoisuus tarkoittaa sitä määrää vettä (m^3/d), jota kaivosta tai pohjavesialueelta voidaan pumpata ilman, että veden pinnankorkeus laskisi merkittävästi. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 6–7.) Pintavesi tarkoittaa vettä, jota on joissa ja järvissä (Lapin ammattiopisto).

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 3 on nähtävissä pohjaveden muodostumisen periaate. Sadevettä imeytyy maaperään tai kallioperään ja sitä kautta mereen ja järviin. Vettä haihtuu merestä ylös ilmakehään ja siellä vesi tiivistyy pilviin. Pilvistä vesi sataa jälleen maahan ja imeytyy maa- ja kallioperään.



KUVA 3. Pohjaveden muodostuminen (LAHTI.)

Suomessa on pohjavettä 700 km^3, eli pohjavettä on seitsemänkertainen määrä pintaveteen verrattuna. Suomen pohjavesiesiintymät ovat usein pieniä ja sijaitsevat kaukana suurista asutuskeskuksista, poikkeuksena Salpausselän alue. Pohjavesi soveltuu vesilaitoskäyttöön suhteellisin vähäisin puhdistustoimenpitein ja sen vuoksi pohjavedet ovat raakavesinä vesilaitoskäyttöön hyvin soveltuvia. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 257.)

Yksinkertaisimmillaan pohjavettä ei tarvitse käsitellä ollenkaan, vaan vesi pumpataan suoraan verkostoon useimmiten painesäiliön kautta. Klooraus on kuitenkin yleinen puhdistusmenetelmä, ja UV-säteilytys on yleistymässä. (Isomäki, Britschgi, Gustafsson, Kuusisto, Munsterhjelm, Santala, Suokko & Valve 2007, 47.)

Tällä hetkellä 61 % talousvedestä valmistetaan pohjavedestä, ja 39 % talousvedestä valmistetaan pintavedestä (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2008). Vedenkäsittelyssä vedestä poistetaan mikrobeja ja vähennetään veden syövyttävyyttä. Suomalaisista 90 % saa talousvetensä vesilaitosten putkistojen kautta. (Vesilaitosyhdistys.)

Tulevaisuudessa vesihuollossa tullaan luultavimmin käyttämään pohjavettä yhä enenevässä määrin. Myös tekopohjaveden muodostuksella saadaan jatkossa turvattua veden saanti. Pintavettä ei välttämättä käytetä yhtä paljon kuin ennen, sillä pohjaveteen verrattuna pintavesien kontaminaatioriski on suurempi. Ilmastonmuutos saattaa myös vaikuttaa pintaveden laatuun, sillä korkeampien lämpötilojen ja lisääntyvien sateiden myötä

rajuilmojen hallinta on yhä hankalampaa nykyisen infrastruktuurin avulla. (Katko, T. S. & Juuti, P. S. 2007, 69.)

3.6.1 Pohjaveden laatu

Pohjavesien laatuun vaikuttaa moni tekijä, kuten esimerkiksi sadeveden laatu, sääolosuhteet, maaperän ominaisuudet, geologinen rakenne, kehityshistoria ja ihmisen toiminta. Pohjavesien elektrolyyttipitoisuus on yleensä pieni, kuten pintavesissäkin. Pohjavesien kovuus on usein pieni, mutta hiilidioksidipitoisuus on usein korkea. Suomessa maaperä on usein humuspitoista, jonka vuoksi pohjaveden väri ja kaliumpermanganaattiluku ($KMnO_4$-luku) ovat usein suuria. Rautaa ja mangaania pohjavesissä on varsin usein. Suuri rauta- ja mangaanipitoisuus saattaa johtua siitä, että pohjaveden pinnankorkeus on niin lähellä maanpintaa, että metallien saostumista ei ehdi tapahtua. Suomen pohja- ja pintavesissä alkaliteetti on tyypillisesti alhainen. Myös fluoridipitoisuus saattaa olla korkea joillakin alueilla. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 215, 256–257.)

4 MUSTALAMMEN POHJAVESILAITOKSEN PROSESSIKUVAUS

Tässä prosessikuvauksessa käsitellään Tampereen Veden Mustalammen pohjavesilaitoksen mitoitusperusteet, laitoksen toiminta, prosessin kulku, mittaukset ja käytettävien laitteiden yleiset, automaattiset säädöt ja ohjaustoiminnot. (Jokihaara & Takamaa 2010, 1.)

Vedenkäsittelyn prosessivaiheet ovat kaivopumppaus, ilmastus, hiekkasuodatus, huuhteluvesien käyttö, alavesisäiliö, verkostopumppaus ja desinfiointi. Desinfiointiin kuuluu ultraviolettivalo ja natriumhypokloriitti. Laitoksella on käytössä myös pH:n säätö natriumhydroksidilla. pH:ta säädetään natriumhydroksidilla ennen hiekkasuodatusta. Laitoksella varaudutaan myös aktiivihiilisuodatukseen, kemialliseen hapetukseen kaliumpermanganaatilla, klooriamiinidesinfiointiin, lamelliselkeytykseen ja polymeerin käyttöönottoon. (Jokihaara & Takamaa 2010 1; Vihersalo 2012.)

Prosessilaitteet liitetään Mustalammen pohjavesilaitoksen automaatiojärjestelmään, ja tiedot välitetään tietoverkossa Tampereen Veden kaukovalvonta- ja kaukokäyttöjärjestelmään. Laitteet voidaan käynnistää, ja niitä voidaan ohjata manuaalisesti automaatiojärjestelmän ollessa pois käytöstä. Kaikkien laitteiden käynnistykset ja pysäytykset on hoidettu sähköisesti keskuksissa olevien K-O-A kytkinten avulla. Automaatiojärjestelmällä hoidetaan myös lukitukset. Automaatiojärjestelmän ollessa pois käytöstä lukitukset hoitaa käyttäjä. (Jokihaara & Takamaa 2010, 1.)

Ohjausarvoja, säätöarvoja, käynti- ja taukoaikoja, kytkentä-, lukitus- ja tilausrajoja voidaan muuttaa automaatiojärjestelmästä ja Ruskossa sijaitsevasta valvomosta. Tarkat ohjaus- ja säätöarvot, käynti- ja taukoajat, hälytykset, lukitukset, tilausrajat, kytkennät ja raportit määritettiin ja tarvittavat parametrien viritykset tehtiin automaatiojärjestelmän käyttöönoton ja koeajojen aikana. (Jokihaara & Takamaa 2010, 1.)

Prosessista tehtävät mittaukset, laitteiden ja moottorien käynti- ja tilatiedot sekä hälytykset viedään järjestelmään. Käyttötunteja voidaan seurata automaatiojärjestelmästä. Kaikkien moottorien ohjausryhmien lukitukset ja niiden hälytykset (myös ristiriitahälytys) sekä ohjauskytkimien asentotiedot tulevat automaatiojärjestelmään. Rinnakkaisilla

pumpuilla on automaattinen vuorottelukäyttö, ja pumppuja voidaan ohjata manuaalisesti pumppujen viereisen käsiohjauksen avulla. (Jokihaara & Takamaa 2010, 1–2.)

4.1 Kaivopumppaus

Mustalammen pohjavedenottamoalueella on viisi kaivoa, joista neljä on käytössä. Vedenottamo saa ottaa vettä päivittäin korkeintaan 5000 m^3. Pohjaveden antoisuudeksi on arvioitu päivittäin noin 2000 m^3. Tavoiteltava hetkellinen maksimi vedenotolle on 340 m^3/h, minkä vuoksi kaivoihin asennetaan maksimituotoltaan 10 m^3/h arvioitua suuremmat pumput. (Jokihaara 2010, 2–3; Helin 2012).

Kaivopumput ovat toiminnassa tietyn käyntijärjestyksen mukaisesti, ja ne toimivat taajuusmuuttajaohjatusti automaatiojärjestelmän kautta. Kaivopumppaukselle on tietyt maksimituotot, joita ei saa ylittää. Maksimituotot eli kaivojen antoisuudet on asetettu hiekkasuodatuksen mitoitusvirtaaman mukaisesti. Taulukossa 3 on esitetty kaivojen antoisuudet. (Jokihaara & Takamaa 2010, 3.)

TAULUKKO 3. Kaivojen antoisuudet (Jokihaara & Takamaa 2010, 3.)

Kaivo	**Antoisuus (m^3/h)**
1	72
2	60
3	84
4	84
5	poistettu käytöstä
Yhteensä	**300**

Veden laadunvarmistus tapahtuu näytteenoton ja vesianalyysien avulla. Kaivojen veden laadussa on ollut huomattavia eroja. Esimerkiksi kaivon 5 veden laatu on kuin pintavedellä, vaikka kyseessä on pohjavesi. Kaivo 5 onkin poistettu käytöstä. Kaivossa 4 taas on ollut suurimmat tri- ja tetrakloorieteenipitoisuudet. Sivulla 60 olevasta taulukosta 10 havaitaan, että näytteenottopäivänä 2.2.2012 otetuissa näytteissä kaivossa 4 tri- ja tetrakloorieteenin yhteenlaskettu pitoisuus oli 14,3 µg/l, kun kaivossa 1 sama pitoisuus oli 10,3 µg/l, kaivossa 2 pitoisuus oli 7,9 µg/l ja kaivossa 3 pitoisuus oli 11,0 µg/l. (Jokihaara & Takamaa 2010, 3.)

Kaivoista saatava vesi on raakavettä. Kaivot ovat siiviläputkikaivoja. Siiviläputkikaivo on eniten käytetyin kaivotyyppi, joka tehdään poraamalla. Muut kaivotyypit ovat kuilukaivo ja porakavio. Siiviläputkikaivossa vesi kulkeutuu suojaputkessa siivilän kautta pumpulle, joka pumppaa veden käyttöön. Suurimmat vedenlaadun riskit aiheutuvat pintavesien valumisesta kaivoon. Myös pieneläinten (jyrsijät, linnut) hakeutuminen kaivojen yläpuolisiin rakenteisiin on riski, joka laitoksella on estetty asentamalla tiheät verkot ilmastointiputkiin ja viemäreihin. Kaivopumput ovat porakaivopumppuja. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 7;Vihersalo 2012.)

Kaivoissa on pinnankorkeuden mittaus. Pumppuja voidaan ohjata manuaalisesti ja automaatiojärjestelmän avulla. Pumpuissa on myös suojaavia lukituksia. Raakavesikaivoista pumpattavan veden paine voidaan mitata. (Jokihaara & Takamaa 2010, 3–4; Vihersalo 2012.)

Raakavesikaivoista pumpattavan veden virtausmittaukset tehdään magneettisilla virtaamamittareilla. Myös kaivoveden tiettyjä laatusuureita, kuten pH:ta, lämpötilaa ja redox-potentiaalia voidaan mitata. Jokaiselle kaivolle on oma putki, jota pitkin vesi tulee pH-mittaukseen. Kaikki raakaveden kaivopumppauksista tehtävät mittaukset tallennetaan raportointijärjestelmään, joka on osa automaatiojärjestelmää. (Jokihaara & Takamaa 2010, 4–5; Vihersalo 2012.)

4.2 Ilmastustornit

Ilmastustorneissa vedestä poistetaan rauta, trikloorieteeni, tetrakloorieteeni ja vapaa hiilidioksidi. Tri- ja tetrakloorieteeni (TCE ja PCE) ovat kloorattuja liuottimia. Ilmastustornit käynnistyvät taajuusmuuttajaohjatusti raakaveden virtauksen asetusarvojen mukaisesti. Ilmastustornien yhteydessä on manuaalinen näytteenottopiste, joka on nähtävissä sivulla 35 olevassa kuvassa 10. Sivulla 21 olevassa taulukossa 4 on ilmastustornien mitoitusarvot. (Jokihaara & Takamaa 2010, 5.)

TAULUKKO 4. Ilmastustornien mitoitusarvot (Jokihaara & Takamaa 2010, 5.)

Ilmastustornit	**Mitoitusarvo**	**Yksikkö**
Mitoitusvirtaama, q_{mit}	340	m^3/h
Mitoituslämpötila	6	°C
TCE:n ja PCE:n poistoteho	>80	%
Ilma/vesi-suhde	30	m^3/m^3
Ilmavirtaama	10200	m^3/h
Pintakuorma	36	m/h
Tornin halkaisija	2,0	m
Tornien lukumäärä	3	kpl
Täytekappalekerroksen korkeus	4,5	m

Kuvassa 4 on ilmastustornit. Ilmastustorneja on tällä hetkellä kolme, mutta myös neljännelle ilmastustornille on varaus. (Jokihaara & Takamaa 2010, 5.)

KUVA 4. Ilmastustornit (Kuva: Linda Vikman 2012)

Ennen ilmastustorneja ilma kulkee ilmansuodattimien läpi. Ilmansuodattimet ovat EU7-tason ilmansuodattimia. (Jokihaara & Takamaa 2010, 6.) Ulkoilman laatu ja sisäilman laatuvaatimukset määrittävät usein ilmansuodattimien erotusasteen. EU7-tason ilmansuodattimet suodattavat 80 % 1,0 µm:n hiukkasista suodattimen käyttöiän aikana. (Sisäilmayhdistys.) Ilmastettu vesi kertyy painovoimaisesti tornin alaosaan. Ilmastustor-

neissa on ylärajalukitteinen pinnankorkeuden mittaus. Ilmastustorneissa on suojaavia lukituksia, ja pinnankorkeuden mittauksen tiedot tallennetaan automaatiojärjestelmään. (Jokihaara & Takamaa 2010, 6; Vihersalo 2012.)

4.3 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatusprosessiin kuuluu viisi hiekkasuodatinta. Hiekkasuodatuksen yhteydessä on manuaalinen näytteenottopiste, joka on nähtävissä sivulla 34 olevassa kuvassa 9. Ilmastustornien jälkeen veteen syötetään natriumhydroksidi (NaOH), jolla pH-arvo säädetään tietylle tasolle. Putkisekoitin sekoittaa NaOH:in veteen ennen kuin vesi kulkeutuu putkia pitkin hiekkasuodattimille. Ilmastustornit, putkisekoitin ja hiekkasuodatin sekä muut prosessin osat ovat nähtävissä liitteessä 10 olevassa pi-kaaviossa (putkisto- ja instrumenttikaavio). (Jokihaara & Takamaa 2010, 6.)

Hiekkasuodatuksen tehtävä on poistaa vedessä oleva rauta ja mangaani. Vesi kulkeutuu hiekkasuodattimissa ylhäältä alaspäin ja hiekkapatjan läpi. Ilmastuksessa muodostunut rauta ja vedessä oleva mangaani suodattuvat hiekkaan. Hiekkasuodatus muodostaa tarvittavat olosuhteet mangaanin biologiseen hapettumiseen toimien bakteerien kasvatusalustana. Likaantunut hiekka pestään huuhtelun avulla. (Jokihaara & Takamaa 2010, 6–8.)

Hiekkasuodatuksessa voidaan mitata veden sameus, pH, ilmanpaine, virtaus, lämpötila ja redox-potentiaali. Virtausmittaus suoritetaan magneettisilla virtausmittareilla. Mittaukset tallennetaan automaatiojärjestelmään. Hiekkasuodattimissa on suojaavia lukituksia ja hälytyksiä. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 5 on hiekkasuodattimet ja huuhteluvesien tasausallas. Hiekkasuodatuksesta tulevat likaiset vedet kulkeutuvat huuhteluvesien tasausaltaaseen. Huuhteluvesien tasausaltaassa on pinnankorkeuden mittaus. Pinnankorkeuden mittauksessa on suojaavia lukituksia ja kaikki mittauksen tiedot tallennetaan automaatiojärjestelmään. (Jokihaara & Takamaa 2010, 6–9; Vihersalo 2012.)

KUVA 5. Hiekkasuodatus ja huuhteluvesien tasausallas (Kuva: Linda Vikman 2012)

4.4 Alavesisäiliö

Alavesisäiliön kokonaistilavuus on 900 m^3. Alavesisäiliössä on kaksi 450 m^3 tilavaa osaa. Alavesisäiliöön syötetään natriumhypokloriittia desinfioinnin aikana. Alavesisäiliössä on pinnankorkeuden mittaus. Pinnankorkeuden mittaukseen kuuluu suojaavia lukituksia ja esimerkiksi kuivakäyntisuoja. (Jokihaara & Takamaa 2010, 10; Vihersalo 2012.)

Kuivakäyntisuoja tarkoittaa anturia tai pysäytysrajaa, joka on liitetty automaatiojärjestelmään, ja joka katkaisee pumpun toiminnan, mikäli putkistoon alkaa tulla liikaa ilmaa putkivuotojen tai kavitoinnin takia (Seseon automaatiopalvelu OY). Kavitointi tarkoittaa ilmiötä, jossa pumpun imupuolen paine laskee liian alhaiseksi, jolloin vesi höyrystyy. Kavitointi heikentää pumpun toimintaa. (WebDia.) Mustalammen laitoksella on käytössä asetusarvon mukainen kuivakäyntisuoja (Jokihaara & Takamaa 2010, 10).

4.5 Verkostopumppaus

Mustalammen pohjavesilaitokselta pumpataan vettä Epilä-Villilään, Tesomalle ja tarvittaessa Nokialle. Verkostopumppausta voidaan ohjata manuaalisesti ja automaatiojärjestelmän avulla. Verkostopumput ovat taajuusmuuttajaohjattuja. Verkostopumppauksen yhteydessä mitataan paine, virtaama, pH, lämpötila ja jäännösklooripitoisuus. Esimerkiksi painemittaus voidaan mitata molemmista painepiireistä (Tesoma ja Epilä-Villilä) erikseen. Verkostopumppaukseen kuuluu suojaavia lukituksia. Kaikki mittauksen tiedot viedään automaatiojärjestelmään. (Jokihaara & Takamaa 2010, 12–13; Vihersalo 2012.)

4.6 Desinfiointi

Mustalammen pohjavesilaitoksen vesi desinfioidaan ultraviolettivalolla ja natriumhypokloriitilla. Natriumhypokloriitti annostellaan veteen jäännösklooripitoisuuden perusteella. Shokkikloorauksessa natriumhypokloriittipitoisuus nostettiin korkeaksi ja jäännösklooripitoisuuden arvoa seurattiin. Kuvassa 6 on hypokloriitin valmistus- ja annostelulaitteisto. (Jokihaara & Takamaa 2010, 13.)

KUVA 6. Hypokloriitin valmistus- ja annostelulaitteisto (Linda Vikman 2012)

4.6.1 UV-desinfiointi

Mustalammen laitoksen molempiin painepiireihin on asennettu desinfiointilaitteet. UV-desinfiointilaitteiston mittaustiedot kirjataan automaatiojärjestelmään, ja laitteistossa on suojaavia lukituksia. Taulukossa 5 on nähtävissä desinfioinnin mitoitusarvot. (Jokihaara & Takamaa 2010, 13; Vihersalo 2012.)

TAULUKKO 5. UV-desinfiointilaitteiden mitoitusarvot (Jokihaara & Takamaa 2010, 13).

UV-laitteet	**Yksikkö**	**Mitoitusarvot**
Mitoitusvirtaama	m^3/h/laite	200
Yhteiden koko	-	DN200
UV-annos lampun käyttöiän lopussa	J/m^2	vähintään 400
Paineen kestävyys	bar	vähintään 12

UV-valo on sähkömagneettista säteilyä, joka on aallonpituusalueella 100–400 nm. UV-valo jakaantuu neljään alueeseen; UV-A, UV-B, UV-C ja UV-D alueen spektreihin. Mikrobien desinfiointiin soveltuvat parhaiten UV-B ja UV-C alueiden spektrit. Usein desinfioinnissa käytettävät UV-säteet ovat aallonpituusalueella 200–300 nm sisältäen UV-B ja UV-C alueiden sähkömagneettisia spektrejä. (White’s Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 2012, 897.)

UV-säteilytys perustuu biokemiallisiin muutoksiin, joita mikro-organismeissa tapahtuu desinfioinnin aikana. Jotta desinfiointi toimisi mahdollisimman tehokkaasti, on DNA:n absorboitava energiaa tietystä sähkömagneettisesta spektristä. Desinfioinnin onnistuminen edellyttää tarpeeksi valoa, ja sen oikeanlaista absorptiota. (White’s Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 2012, 898.)

Mustalammen laitoksella käytettävän UV-laitteiston aallonpituus on 254 nm. UV-laitteiston säteilytys vaikuttaa veteen vain hetkellisesti. Rauta ja mangaani saostuvat putkiston pinnalle. UV-laitteiston yhteydessä on myös erillinen happopesulaitteisto. Happopesun aikana vettä desinfioidaan vain natriumhypokloriitilla. (Jokihaara & Takamaa 2010, 13; Vihersalo 2012) UV-valo vaikuttaa haitallisesti natriumhypokloriittiin desinfioinnissa. Natriumhypokloriitin pH:n on oltava tasainen, jotta desinfiointi onnistuisi. (White’s Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 2012, 470.)

4.6.2 Natriumhypokloriitti

Vettä desinfioidaan UV-desinfioinnin lisäksi myös natriumhypokloriitilla. Jäännöskloori-pitoisuuden tulee olla 0,10–0,15 mg/l, mutta pitoisuus voi nousta jopa arvoon 50 mg/l. Natriumhypokloriittilaitteistoon kuuluu pinnankorkeuden mittaus. Natriumhypokloriittilaitteistossa on suojaavia lukituksia, ja mittauksen tiedot tallennetaan automaatiojärjestelmään. (Jokihaara & Takamaa 2010, 14–15; Vihersalo 2012.)

Natriumhypokloriitin deklooraus tehdään metabisulfiitilla. Natriummetabisulfiitin ja kloorikomponentin välinen kemiallinen reaktio on alla olevan kaavan (1) mukainen

$$Na_2S_20_5 + 2Cl_2 + 3H_20 \rightarrow 2NaHSO_4 + 4HCl \quad (1)$$

Reaktiossa natriummetabisulfiitista ($Na_2S_2O_5$), kloorista (Cl_2) ja vedestä (H_20) syntyy reaktioyhtälönkertoimien mukaisesti natriumbisulfiittia ($NaHSO_4$) ja suolahappoa (HCl). Myös natriumtiosulfaattia ($Na_2S_2O_3$) käytetään laboratorioissa dekloraukseen koliformisten konsentraatioiden määrityksissä. (White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 2012, 582.)

4.6.3 Shokkiklooraus

Shokkiklooraus suoritetaan lisäämällä veteen kloorikemikaalia, usein natriumhypokloriittia. Säiliöiden ja putkien pesukloorauksen (shokkiklooraukseen) voidaan käyttää natriumhypokloriittia tai kalsiumhypokloriittia. (Isomäki, Valve, Kivimäki & Lahti 2007, 30.) Kloori on eniten käytetty kemikaali desinfioinnissa (Karttunen 1999, 66). Natriumhypokloriittia voidaan käyttää talousveden lisäksi myös jäteveden puhdistukseen (White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 2012, 454).

Shokkikloorauksessa syntyy usein saostumia pumppuihin ja putkistolinjoihin. Saostumat on poistettava pumpun puhdistuksella ja huuhteluin. Venttiilien toimivuutta on tarkkailtava. Dekloorauksessa kloori hajotetaan. Deklooraus tehdään natriumbisulfiitilla tai natriummetabisulfiitilla. Reaktio on hyvin nopea. (Isomäki, Valve, Kivimäki & Lahti 2007, 30–31.)

Shokkiklooraukseessa vesijohtoverkosto, säiliöt ja kaivot pesuklooratаan esimerkiksi sen vuoksi, jos vedestä on löytynyt indikaattoribakteereita. Tällöin vesilaitoksen osat huuhdellaan aluksi huolellisesti, ja kaivot ja vesisäiliöt joudutaan mahdollisesti pesemään. Huuhtelun jälkeen vesilaitoksen osat täytetään vedellä ja kloorikemikaali lisätään veteen. Klooripitoisuus tulee olla noin 10–50 mg/l. Kemikaalin annetaan vaikuttaa noin 1–3 päivän ajan. Kun klooraus on suoritettu, otetaan näyte ja klooripitoisuus tutkitaan laboratoriossa. (Isomäki, Valve, Kivimäki & Lahti 2007, 32.)

Yksittäisiä laitteita voidaan desinfioida tarpeen mukaan. Esimerkiksi pumppu voidaan desinfioida upottamalla se 30 min ajaksi vesiliuokseen, jonka klooripitoisuus on noin 10 mg/l. (Isomäki, Valve, Kivimäki & Lahti 2007, 33.)

4.6.4 Shokkiklooraus Mustalammen pohjavesilaitoksella

Mustalammen laitoksen shokkiklooraukseessa koko laitos ja kaikki sen osat, kuten putkistot, hiekkasuodattimet, ilmastustornit, altaat ja sisäpinnat, jotka olivat olleet veden kanssa tekemisissä, kloorattiin natriumhypokloriitilla. (Helin 2012.)

Ennen shokkikloorausta ilmastustornit, hiekkasuodattimet ja putkisto tyhjennettiin vesistä ja alavesisäiliöt puhdistettiin ja pestiin. Puhdasta vettä, joka ei sisältänyt kemikaaleja, ajettiin satoja kuutioita kaivoista ympäristöön, jotta kaivoissa seisonut vesi saatiin vaihdettua. Tämän jälkeen vettä ajettiin kaivoista laitokselle ja veteen tehtiin shokkiklooraus. Veden shokkiklooraukseessa laitokselle tulevaan raakaveteen syötettiin n. 50 mg/l natriumhypokloriittia. (Helin 2012.)

Shokkiklooraukseessa ilmastustornit ja suodattimet desinfiointiin 24.–25.1.2012. Aluksi ilmastustorni 3 ja hiekkasuodattimet 1 ja 2 putkistoineen desinfioitiin pumppaamalla kaivosta 4 vettä noin 25 m^3/h, johon oli syötetty 10 % natriumhypokloriittia. Kokonaiskloori mitattiin, ja sen arvoksi saatiin 65 mg/m^3. Sitten ilmastustorni 2 sekä hiekkasuodattimet 3 ja 4 desinfiointiin pumppaamalla kaivosta 1 vettä noin 30 m^3/h, johon on syötetty 10 % hypokloriittia. Kokonaiskloorin arvoksi mitattiin 51 mg/m^3. (Econet Oy.)

Lopuksi ilmastustorni 1 ja hiekkasuodatin 5 desinfiointiin pumppaamalla kaivosta 1 vettä noin 30 m^3/h, johon on syötetty natriumhypokloriittia. Desinfiointivettä seisotettiin ilmastustorneissa, putkistoissa ja suodattimissa 16 tuntia, jonka jälkeen vesi huuhdeltiin alavesisäiliöön 2. (Econet Oy.)

Alavesisäiliöt desinfiointiin 25.–31.1.2012. Alavesisäiliö 2 desinfioitiin syöttämällä 450 m^3 vettä hiekkasuodattimien kautta alavesisäiliöön. Kun altaat täyttyivät kloorista, veden klooripitoisuudeksi mitattiin 20 mg/m^3. Mittaustulos osoitti, että hiekkasuodattimissa oli hajonnut 31 mg/m^3 klooria, sillä edellinen klooripitoisuuden mittaustulos oli 51 mg/m^3. Altaaseen lisättiin 180 l 10 % natriumhypokloriittia. Vettä seisotettiin alavesisäiliössä 2, jonka jälkeen se pumpattiin alavesisäiliöön 1. Altaan täytyttyä veden kokonaisklooriksi mitattiin 48 mg/m^3. (Econet Oy.)

Kaikkiin hiekkasuodattimiin pumpattiin yhteensä 65 l natriumhypokloriittia. Hiekkasuodattimia on yhteensä viisi, joten jokaiseen suodattimeen pumpattiin 13 litraa natriumhypokloriittia. Vettä, joka sisälsi natriumhypokloriittia, pumpattiin jokaiseen hiekkasuodattimeen noin 25–30 m^3/h. Dekloorauksen käytetyn metabisulfiitin määrä oli 40 kg 450 m^3 alavesisäiliöön. (Econet Oy.)

4.6.5 CT-arvo

CT-arvo (concentration of free chlorine) tarkoittaa jäännösklooripitoisuutta (mg/l) (Washington State Department of Health). CT-arvon avulla pystytään mittaamaan shokkikloorauksen tehokkuutta. CT-arvo lasketaan alla olevan kaavan (2) avulla

$$CT - arvo = C_{mg/L} \cdot T_{\min} \qquad (2)$$

jossa $C_{mg/L}$ on jäännösklooripitoisuus (mg/L) ja T_{min} on shokkikloorauksen kulunut aika minuuteissa.

Alavesisäiliöön pumpattiin natriumhypokloriittia 16 tuntia eli 960 min. Näytteenotossa 26.1.2012 vapaan kloorin eli jäännöskloorin pitoisuudeksi mitattiin 0,25 mg/l ja 0,29 mg/l. Kaavan (2) avulla laskettuna CT-arvo mittauksessa 1 on

$$CT - arvo = 0{,}25\frac{mg}{l} \cdot 960\,\text{min} = 240 \quad (2)$$

Mittauksen 2 CT-arvo on yhtälön (2) mukaisesti

$$CT - arvo = 0{,}29\frac{mg}{l} \cdot 960\,\text{min} = 278{,}4 \quad (2)$$

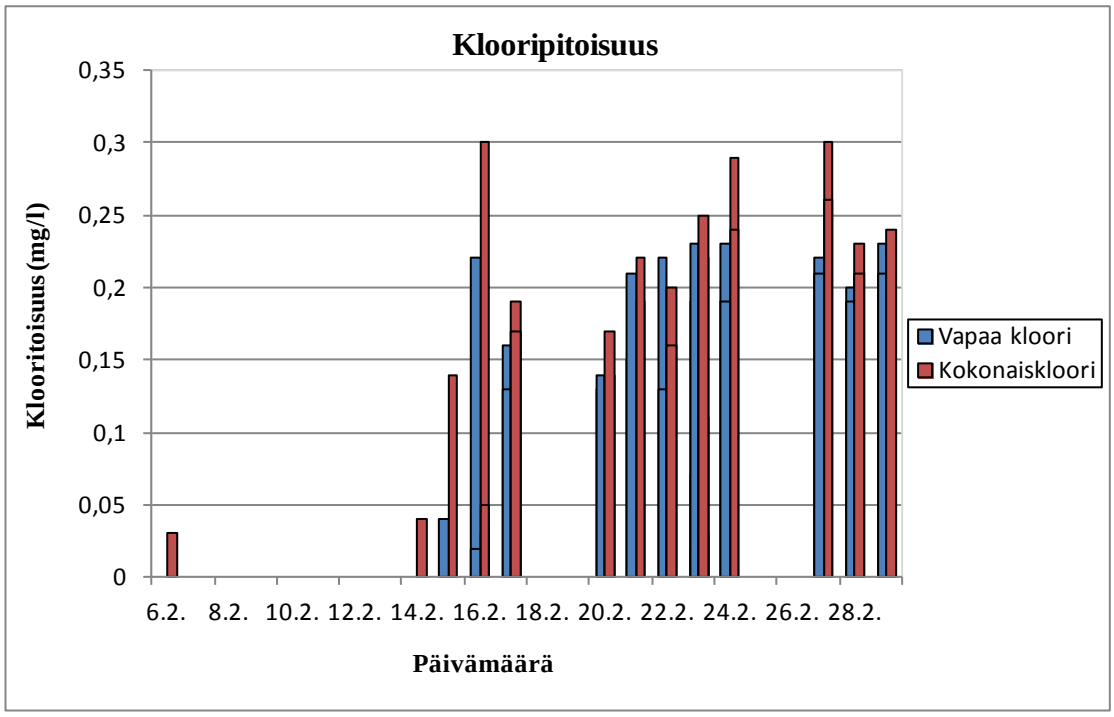
Shokkikloorauksen jälkeen CT-arvo ei ole kovin korkea, sillä jäännösklooripitoisuuden tavoitearvo on 0,05–0,10 mg/l normaalikäynnin aikana. Jos jäännösklooripitoisuus olisi 0,05 mg/l ja desinfiointi kestäisi 16 tuntia, CT-arvo saataisiin laskettua kaavan (2) avulla

$$CT - arvo = 0{,}05\frac{mg}{l} \cdot 960\,\text{min} = 4{,}8 \quad (2)$$

Jos taas jäännösklooripitoisuuden arvo olisi 0,10 mg/l, olisi CT-arvo kaavan (2) avulla

$$CT - arvo = 0{,}10\frac{mg}{l} \cdot 960\,\text{min} = 9{,}6 \quad (2)$$

Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa 1 on puhtaan veden klooripitoisuus ylösajovaiheen aikana. Kuviosta 1 nähdään, että ylösajovaiheen alussa veden klooripitoisuus on alle 0,05 mg/l. Ilmastustornien ja putkien desinfiointi tehtiin 24.–25.1.2012. Alavesisäiliöiden desinfiointi tehtiin 25.–31.1.2012. Desinfiointi eli shokkiklooraus nosti klooripitoisuuden hetkellisesti korkeaksi. Shokkikloorauksen jälkeen klooripitoisuus oli alle 0,05 mg/l. Helmikuun puolivälissä klooripitoisuus nostettiin verkostovedelle sopivalle tasolle (0,2–0,3 mg/l). Ennen helmikuun puoliväliä (6.2. jälkeen) mittauksia ei tehty lainkaan.



KUVIO 1. Puhtaan veden klooripitoisuus

4.7 Laajennusvaraukset

Mustalammen pohjavedenottamolle on tehty laajennusvaraus hiekkasuodattimien lisäämiseksi prosessiin tarvittaessa. Tilavaraus voidaan myös hyödyntää aktiivihiilisuodatuksen toteutukseen vastaavina suodatinyksikköinä. Mustalammen laitoksen piha-alueelle on myös tehty tilavaraus neljälle ilmastustornille. Pohjavedenottamolla on lisäksi varauduttu aktiivihiilisuodatukseen, hiekkasuodatuksen laajentamiseen, pH:n säätökemikaalin ($CaCO_3$), kemiallisen hapettimen, polymeerin ja klooriamiinidesinfioinnin käyttöönottoon tarvittaessa. (Jokihaara & Takamaa 2010, 15.)

5 NÄYTTEENOTTO

Näytteenotto on tärkein osa veden laadun tarkkailua. Vesinäytteen tulee kuvata mahdollisimman tarkasti Mustalammen pohjavesilaitoksen veden laatua. Näytteet tulee toimittaa laboratorioon kylmälaukussa välittömästi näytteenoton jälkeen, jotta veden laatu ei ehtisi muuttua kuljetuksen aikana. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 33.)

Näytteenotossa tarvitaan näytteenottovälineet, jotka on kuvattu luvussa 5.1. Näytepulloihin kirjataan näytteenoton päivämäärä ja näytteenottopiste. Näytteenoton yhteydessä pulloihin merkitään veden lämpötila ja mahdollisesti myös veden laatua kuvaavat aistinvaraiset arviot (sameus, väri ja haju). Jos vesi näyttää silmämääräisesti katsottuna samealta, on näytteenoton yhteydessä hyvä mitata myös rauta tai mangaani. Näytepulloihin kirjataan vapaa kloorin, kokonaiskloorin ja pH:n mittaustulokset.

5.1 Näytteenottovälineet

Näytteenotossa tarvittavia näytteenottovälineitä ovat esimerkiksi näytteenottopullot, pitkä näytteenotin, suojakäsineet ja sytytin. Näytteet otetaan Mustalammen laitokselta, ja osa analyyseistä tehdään laitoksella näytteenoton yhteydessä.

Hiekkasuodattimien avulla vedestä poistetaan mangaani, ja tuloksista riippuu, kuinka monta näytettä hiekkasuodattimista jatkossa otetaan. Tuloksista riippuu myös se, kuinka paljon näytteitä otetaan jatkossa ja mitä analyysejä niistä tehdään. Mustalammen laitokselta otettiin näytteitä ainakin 124 kappaletta rakennusvaiheen lopussa sekä ylösajovaiheen, koeajojen ja käyttöönottovaiheen aikana.

Mikrobiologisia tutkimuksia varten otettavien bakteerinäytepullojen on aina oltava steriilejä pulloja. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 6 on nähtävissä eri analyysejä varten näytteenotossa tehtävä näytteen varastointi kuljetusta varten, analysointipaikka ja analysointivälineet.

TAULUKKO 6. Näytteiden säilytys ja analysointipaikka

Analyysi	**Näytteenottoastiat**	**Analysointipaikka/ Analysointivälineet**
Bakteerit	0,5l/1l steriili pullo (lasi)	Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratorio
O_2	happipullo (hiospullo)	Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratorio
CO_2	100ml/200ml mittapullo	Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratorio
Cl_2	1l lasipullo/1l muovipullo	Mustalammen laitos/kolorimetri
TCE+PCE	125 ml putki	Eurofins Scientific Finland Oy
Fysikaalis-kemialliset analyysit	1l lasipullo/1l muovipullo	Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratorio
SO_4^{2-},Cl,F,NO_3-N	100 ml muovipullo	Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratorio
Fe, Mn	250 ml lasipullo/ 250 ml muovipullo	Mustalammen laitos/ kannettava spektrofotometri
Ca, Mg, S, Si, SiO_2 ,K, N	125 ml muovipullo	Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys (KVVY)

Taulukossa 6 tutkittavat bakteerit ovat kolit, pesäkeluvut (22 °C ja 37 °C), hiivat ja homeet. Taulukossa 6 oleviin fysikaalis-kemiallisiin analyyseihin kuuluu TOC, Al, pH, alkaliteetti, sähkönjohtokyky (25 °C), sameus, väri, SO_4, NH_4-N, NO_2-N, $N0_3$-N, kokonaisfosfori, CO_2, bikarbonaatti, bikarbonaattikovuus, PO_4-P, Fe, Mn ja kovuus

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 7 on nähtävissä näytteenottopulloja. Bakteeripullo on steriili lasinen pullo, jonka korkin ympärillä on suojana folio. Sinikorkkinen lasipullo on verkostoveden, raakaveden, ilmastetun veden ja hiekkasuodatetun veden näytteenottoa varten. Näytteitä voidaan ottaa myös oikealla oleviin muovisiin litran pulloihin sinikorkkisten pullojen sijaan. Keskellä oleva lasipullo on hiilidioksidipullo, ja hioskorkillinen pullo on happipullo. Pieni muovinen pullo on pH-pullo.

KUVA 7. Näytteenottopullot (Kuva: Linda Vikman 2012)

5.2 Näytteenottopisteet

Näytteitä otetaan raakavedestä, puhtaasta vedestä, hiekkasuodatuksesta ja ilmastuksesta. Näytteet otetaan näytehanoista ja prosessihanoista näytteenottopöydältä sekä manuaalisista näytteenottopisteistä. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 8 on nähtävissä näytteenottopöytä, josta otettiin raakaveden ja puhtaan veden näytteet. Puhtaan veden näytteet otettiin kolmesta eri puhtaan veden linjasta; puhtaan veden, Tesoman ja Epilä-Villilän linjasta.

Mustalammen laitoksen ylösajovaiheen aikana puhtaan veden näytteet otettiin alavesisäiliöstä pitkällä näytteenottimella 1 l näytteenottopulloon. Puhtaan veden näytteenottoa varten näytteenotin kastettiin 10 % natriumhypokloriittiin bakteerinäytettä varten, jonka jälkeen näytteenotin vietiin alavesisäiliöön. Näytteenotinta huuhdeltiin alavesisäiliön vedessä, jotta kloori liukenisi siitä, ja sen jälkeen näyte otettiin näytteenottimen avulla.

KUVA 8. Näytteenottopöytä (Kuva: Linda Vikman 2012)

Kuvassa 9 on nähtävissä hiekkasuodatuksen manuaalinen näytteenottopiste. Vesinäyte otettiin putkistosta, ja lämpötilan ja sameuden lukeman pystyi lukemaan mittarin näytöltä.

KUVA 9. Hiekkasuodatuksen manuaalinen näytteenottopiste (Kuva: Linda Vikman 2012)

Kuvassa 10 on nähtävissä ilmastuksen manuaalinen näytteenottopiste. Kuvassa on neljä prosessihanaa (IV1, IV2, IV3 ja IV4). Näyte otettiin yhteisputkesta IV2, joka on raakaveden ja ilmastetun veden yhteisputki.

KUVA 10. Ilmastuksen manuaalinen näytteenottopiste (Kuva: Linda Vikman 2012)

5.3 Näytteenottotiheys

Näytteenotto aloitettiin 3.1.2012, jolloin tehtiin mikrobiologisia ja kemiallisia analyysejä kaivovesistä. Myös puhtaan veden, hiekkasuodatuksen ja ilmastetun veden näytteitä tutkittiin. Mustalammen laitoksen käyttöönottopäivä oli 1.3.2012, mistä lähtien näytteitä otettiin lähes päivittäin kahden viikon ajan käyttöönottovaiheen aikana. Ylösajovaiheessa näytteitä otettiin aluksi paljon ja analyyseja tehtiin enemmän, jotta veden laatu ja puhdistusprosessin tarve saataisiin selville. Nykyisin näytteitä otetaan lähes päivittäin. Eri näytteenottopisteiden näytteenottotiheydet vaihtelevat. Sivulla 36 olevassa taulukossa 7 on nähtävissä eri näytteenottopisteiden näytteenottotiheydet.

TAULUKKO 7. Näytteenottotiheydet

Näyte	**Näytteenottotiheys**
Puhdas vesi	arkipäivisin
Raakavesi	kerran viikossa
Ilmastus	2 kertaa/viikko
Puhdas vesi, laaja määritys	1 kertaa/kuukausi
Raakavesi, laaja määritys	6 kerta/vuosi

Mustalammen laitoksen näytteistä tehdään myös laaja määritys kerran kuussa. Laajaan määritykseen kuuluu lukuisia analyysejä. Laaja määritys tehdään sekä raakavedestä että puhtaasta vedestä. Liitteessä 5 on nähtävissä kaikki laajaan määritykseen kuuluvat analyysit. Laajaan määritykseen kuuluu yhteensä 43 analyysiä. Analyyseistä rikki (S), pii (Si) ja silikaatti ($Si0_2$) tehdään vain kolme kertaa vuodessa. (Vilenius 2011.)

5.4 Mustalammen pohjavesilaitoksen ylösajovaihe

Mustalammen laitoksen ylösajovaihe alkoi 7.2.2012, kun rakennusvaihe päättyi. Ylösajovaiheen aikana laitoksen veden laatua tarkkailtiin näytteenoton avulla ja natriumhypokloriitin annostelua säädettiin veden laadun mukaan. Vesinäytteitä otettiin lähes päivittäin. (Vihersalo 2012.)

5.5 Mustalammen pohjavesilaitoksen käyttöönottovaihe

Mustalammen laitoksen käyttöönottovaihe oli viikoilla 7 ja 8. Torstaina 16.2.2012 ja tiistaina 21.2.2012 otettiin näytteet laajaa määritystä varten. Torstaina 16.2.2012 ja torstaina 23.2.2012 otettiin myös verkostovesinäytteitä laitoksen läheisistä näytteenottopisteistä. Viikolla 7 vettä juoksutettiin verkostossa yhteensä 95–150 m^3/h, viikolla 8 vettä juoksutettiin 100–140 m^3/h ja viikolla 9 vettä juoksutettiin 120 m^3/h. Mustalammen laitos otettiin käyttöön 1.3.2012. Tällöin kaikki pumput, huuhtelut, lipeälaitteisto ja natriumhypokloriittilaitteisto otettiin käyttöön. Mustalammen laitoksella tehdään tulevaisuudessa takuuajot puhdistusprosessin toimivuuden varmistamiseksi. (Helin 2012; Vihersalo 2012.)

5.6 Näytteenoton suoritus

Näytteenotto suoritetaan sekä mikrobiologisia tutkimuksia että kemiallisia tutkimuksia varten. Käytetyt tutkimusmenetelmät ovat STM 461/2000 asetuksessa hyväksyttyjä, SFS-standardien mukaisia menetelmiä. Vesianalyysejä tehdään raakavedestä, puhtaasta vedestä, hiekkasuodatetusta vedestä ja ilmastetusta vedestä otetuista näytteistä. Mustalammen laitoksella on myös neljä kaivoa, joista näytteitä otetaan.

Mustalammen laitoksella tehdään paikan päällä myös joitakin analyysejä. Vapaa kloori, kokonaiskloori ja pH mitataan välittömästi näytteenoton yhteydessä. Rauta ja mangaani voidaan myös analysoida näytteenoton yhteydessä kannettavan spektrometrin avulla, mikäli vesi on sameaa. Vettä juoksutetaan aluksi muutama minuutti ennen mittauksia. Sitten mitataan lämpötila, pH, vapaa kloori ja kokonaiskloori. pH mitataan pH-mittarilla ja kloori kolometrillä tai kannettavalla spektrofotometrillä. Tämän jälkeen voidaan ottaa tutkittavat näytteet. Näytteenottopullon suuhun tai sisäosiin ei saa koskea käsin kontaminaation välttämiseksi. Prosessihanaan ei saa koskea eikä veden virtausnopeutta saa muuttaa näytteenoton aikana, ettei venttiileistä tai hanan liitoksista irtoa sakkaa (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008, 33).

5.6.1 Näytteenotto mikrobiologisia tutkimuksia varten

Mikrobiologiset näytteet otetaan aina steriiliin 0,25 l, 0,5 l tai 1,0 l bakteeripulloon. Näytteenottopullot ovat nähtävissä sivulla 33 olevassa kuvassa 7. Mikrobiologiset näytteet otetaan bakteerien tutkimista varten. Bakteereista tutkitaan jo edellä mainitut fekaaliset kolit, enterokokit, hiivat, homeet ja kokonaispesäkeluku (22 °C ja 37 °C). Hiivat ja homeet tutkittiin vain ylösajovaiheen aikana, ja ne tutkitaan neljä kertaa vuodessa, silloin kun laitos on käynnissä jatkuvasti. Puhtaasta vedestä tutkitaan koliformiset bakteerit, pesäkeluvut, hiivat ja homeet.

Vesinäytteitä otettaessa hanassa mahdollisesti oleva poresuutin poistetaan tarvittaessa pihtien avulla. Hana steriloidaan liekin avulla tai mikäli hana on muovinen, se puhdistetaan 70 % etanolilla. Steriloinnin jälkeen vettä juoksutetaan noin 15 minuutin ajan putkistolinjan pituudesta riippuen.

Pohjaveden lämpötila on yleensä noin 7–8 °C. Veden lämpötilaa seurataan lämpömittarista veden juoksutuksen aikana. Kun lukema on tasaantunut, tai kun noin 15 minuuttia on kulunut, voidaan vesinäyte ottaa. Vesinäyte otetaan bakteeripulloon, joka täytetään pullon kaulaan asti ja suljetaan korkilla. Vesinäytteet kuljetetaan mahdollisimman nopeasti kylmälaukussa Ruskon talousvesilaboratorioon analysointia varten.

5.6.2 Näytteenotto kemiallisia tutkimuksia varten

Näytteenoton periaate on samanlainen kuin bakteerinäytteitä otettaessa, mutta näytteenottopullo ei ole steriili pullo vaan tavallinen puhdas 0,5 l tai 1,0 l lasipullo tai muovipullo. Näytteenottopullo täytetään täyteen asti ja korkitetaan. Piripintaan täytetyissä pulloissa ilman happi ei pääse vaikuttamaan vedestä määritettäviin kemiallisiin ominaisuuksiin (Vilenius 2011). Kemiallisia tutkimuksia varten otettavat näytteet otetaan bakterilogisen näytteenoton yhteydessä heti bakteeripullojen jälkeen. Mikäli bakteerinäytteitä ei ole, hanaa ei tarvitse steriloida. Tällöin vettä juoksutetaan noin 15 minuuttia, jonka jälkeen vesinäyte otetaan kemiallisia tutkimuksia varten. Vesinäytteet viedään välittömästi näytteenoton jälkeen kylmälaukussa laboratorioon analysointia varten.

6 VESIANALYYSIT

Mustalammen laitoksen näytteet tutkitaan pääosin Tampereen Veden Ruskon talousvesilaboratoriossa. Poikkeuksena ovat anionit (Cl ja F), jotka tutkitaan jätevesilaboratoriossa. Lisäksi muutamat erikoistutkimukset, kuten arseeni, antimoni, trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni teetetään alihankintana. Tarvittavat vesianalyysit on esitetty sivulla 32 olevassa taulukossa 6. Laajaan määritykseen kuuluvat analyysit on nähtävissä liitteessä 5. Mustalammen pohjavesilaitoksen näytteistä tehtiin sekä mikrobiologisia että fysikaalis-kemiallisia analyysejä.

6.1 Mikrobiologiset vesianalyysit

Mikrobiologisiin vesianalyyseihin kuuluvat esimerkiksi koliformiset bakteerit, lämpökestoiset koliformiset bakteerit, enterokokit, pesäkeluku (22 °C ja 37 °C), hiivat ja homeet. Bakteerit ovat yksisoluisia mikro-organismeja, joiden koko on 10^{-7}–10^{-4} m. Sienet taas ovat monisoluisia, aerobisia, heterotrofisia ja aitotumallisia. Sienet bakteerien rinnalla vastaavat orgaanisen aineksen hajottamisesta vesi- ja maaekosysteemeissä sekä luonnossa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 241–242.) Mikrobiologisista vesianalyyseistä kerrotaan alla olevissa kappaleissa.

6.1.1 Koliformiset bakteerit ja Escherichia coli

Koliformiset bakteerit ovat niin kutsuttuja kokonaiskoliformeja. Talousvesiasetuksen (461/2000) mukaan koliformisten bakteerien laatusuositus on 0 pmy/100 ml. Koliformiset bakteerit tarkoittavat fakultatiivisesti anaerobisia, gramnegatiivisia sauvabakteereja, jotka käyttävät laktoosia eli maitosokeria lähinnä tuottaen kaasua ja happoa 35 °C tai 37 °C lämpötilassa 24 tunnin kuluessa. Koliformisiin bakteereihin kuuluu noin 12 suvun eri lajia, joista yleisimpiä ovat Escherichia-, Citrobacter-, Enterobacter-, Klebsiella-, Serratia- ja Rahnella-sukujen lajit. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 2.)

Mikäli talousvedessä ilmenee koliformisia bakteereita, syynä saattaa olla vedenkäsittelyn puute, vedenottamolla ilmennyt saastuminen tai bakteerien lisääntyminen verkostos-

sa. Koliformisista bakteereista E. coli (Escherichi coli) on peräisin ihmisten ja tasalämpöisten eläinten suolistosta ja sitä pidetään parhaana veden ulosteperäisen saastutuksen indikaattorina. Muut koliformit voivat olla peräisin maaperästä, kasveista tai teollisuusjätevesistä. Koliformisia bakteereita saattaa päästä pohjaveteen esimerkiksi pintavesivalumien mukana. Koliformeja pidetään veden yleisen likaantumisen indikaattoreina, esimerkiksi pintavesien päästessä pohjavesiin. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 2.)

Koliformisten bakteerien tutkiminen kuuluu vesilaitoksen jatkuvan valvonnan tutkimukseen. Mikäli koliformisia bakteereita esiintyy, on välittömästi selvitettävä, onko kyseessä E. coli mahdollisen suolistoperäisen saastutuksen selvittämiseksi. Mikäli E. colia löytyy vesinäytteistä, on käynnistettävä välittömät toimenpiteet terveydellisen vaaran ehkäisemiseksi. Käyttäjiä kehotetaan keittämään vettä ennen käyttöä. Vesilaitoksella selvitetään lisänäytteillä veden saastumiskohtaa ja laajuutta sekä aloitetaan puhdistustoimenpiteinä verkoston huuhtelu ja desinfiointi. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Mikäli vesinäytteessä ei ole E. colia, vaan jotakin toista koliformista bakteeria, otetaan uusintanäyte ja selvitetään bakteerin esiintymisen syy. Mikäli uusintanäytteissäkin todetaan koliformisia bakteereita, on suoritettava verkoston huuhtelu tai desinfiointi. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Talousvedessä ei talousvesiasetuksen (461/2000) mukaan saa esiintyä lainkaan koliformisia bakteereita. Yleensä kuitenkin laitoksen käyttöönottovaiheen aikana bakteereita saattaa esiintyä, kuten Mustalammen laitoksellakin, silloin kun vedenkäsittelyprosessi ei ole vielä täysin toiminnassa. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Escherichia coli-bakteeria on seurattava jatkuvassa valvonnassa, sillä se aiheuttaa erityisen riskin esiintyessään juomavedessä. E. colia pidetään parhaana veden ulosteperäisen saastutuksen indikaattorina. Talousvesiasetuksen (461/2000) mukaan E. colin laatuvaatimus on siten 0 pmy/100 ml. Escherichia coli on bakteeri, joka koliformisille bakteereille määriteltyjen ominaisuuksien lisäksi (ks. s. 37) kykenee tuottamaan laktoosista kaasua ja happoa 44,5 °C lämpötilassa ja tryptofaanista indolia. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 2.)

6.1.2 Lämpökestoiset koliformiset bakteerit

Lämpökestoiset koliformiset bakteerit tarkoittavat koliformisia bakteereja, jotka tuottavat laktoosista kaasua ja happoa myös 44,5 °C lämpötilassa. Lämpökestoisiin koliformisiin bakteereihin kuuluvat Escherichia coli ja Klebsiella pneumoniae. Klebsiella pneumoniae-bakteeria tavataan ulosteissa, kasveissa ja puunjalostusteollisuuden jätevesissä. Escherichia coli voidaan erottaa K. pneumoniea-bakteereista indolikokeen avulla. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 4.)

Mikäli talousvedessä todetaan lämpökestoisia koliformisia bakteereita, täytyy välittömästi tehdä E. colin alustava tunnistus. Lämpökestoiset koliformiset bakteerit ovat yleensä merkki E. colin esiintymisestä vedessä. Lämpökestoisten koliformien seurantaa käyttötarkkailussa raakavedestä ja verkostovedestä suositellaan etenkin pintavesilaitoksilla ja sellaisilla pohjavesilaitoksilla, joissa raakaveden saastumisriski on suuri. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien lisäksi vesilaitoksilla tulee tehdä tutkimukset E. colin osoittamiseksi koliformialustan pesäkkeistä, vaikka vedessä ei käyttötarkkailuun liittyvien tutkimuksen perusteella esiintyisikään koliformisia bakteereita. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 4.)

Mustalammen laitoksen mikrobiologiset analyysit tehtiin Tampereen Veden mikrobiologian laboratoriossa. Kuvassa 11 on bakteeriviljelmiä petrimaljoissa. Petrimaljoista punainen on fekaaliset kolit, aniliininvärinen on koliformiset bakteerit, vaaleanruskehtava on enterokokit ja valkoinen on pesäkeluku.

KUVA 11. Bakteeriviljelmiä (Linda Vikman 2012)

6.1.3 Enterokokit

Enterokokki-bakteerien laatuvaatimus talousvesiasetuksen (461/2000) mukaan on 0 pmy/ 100 ml. Fekaalisten enterokokki-bakteerien esiintyminen talousvedessä saattaa olla osoitus ulosteiden aiheuttamasta saastutuksesta. Mikäli vesinäytteessä havaitaan fekaalisten enterokokkien pesäkkeitä m-Enterococcus agarilla, on välittömästi tehtävä tarkastustestit ja selvittävä syy enterokokki-bakteerien esiintymiselle. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 1.)

Enterokokkibakteereita ei todeta vesilaitosten jakamassa vedessä kuin poikkeustilanteissa. Mikäli enterokokki-bakteereita todetaan, on aloitettava välittömät toimenpiteet syyn ja laajuuden selvittämiseksi sekä veden käyttäjiä uhkaavan terveysvaaran ehkäisemiseksi. Toimenpiteitä ovat kehotus kuluttajille veden keittämisestä, desinfiointi tai sen tehostaminen sekä verkoston puhdistaminen huuhtelun tai shokkikloorauksen avulla. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 1.)

Mustalammen laitoksella havaittiin enterokokkibakteeri kaivossa 1 näytteenotossa 11.1.2012. Näytteenoton tulokset on nähtävissä sivulla 59 olevassa taulukossa 9 (taulukossa merkintä 0,3). Tämän vuoksi aloitettiin shokkiklooraus, jolla vesi desinfioitiin. Enterokokkibakteeri saatiin poistettua vedestä shokkikloorauksella. Näytteenotossa 24.1.2012 ja sen jälkeisissä tuloksissa enterokokkeja ei enää esiintynyt.

6.1.4 Pesäkeluku (22 °C ja 37 °C)

Pesäkeluku eli heterotrofinen pesäkeluku voidaan tutkia kahdessa eri lämpötilassa (22 °C ja 37 °C). Talousvesiasetuksen (461/2000) mukainen laatusuositus pesäkeluvulle on ”ei epätavallisia muutoksia”. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.) Pesäkeluvun avulla pyritään arvioimaan talousvedessä elävien aerobisten heterotrofisten bakteerien, hiivojen ja homeiden lukumäärää. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Pesäkeluvun (22 °C) määrityksen avulla voidaan tarkkailla vesilaitoksen toimintaa, kuten desinfioinnin tehokkuutta ja veden laadun muuttumista vesijohtoverkostossa. Menetelmällä ei saada selville kaikkia veden sisältämiä mikrobeja, vaan ainoastaan kasva-

tusalustalla viljelyolosuhteissa 22 °C lämpötilassa pesäkkeitä muodostavien mikrobien määrä. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Pesäkkeiden lukumäärään voivat vaikuttaa esimerkiksi raakaveden laatu, vedenkäsittely, veden lämpötila ja viipymä, desinfiointiaineen määrä, verkoston rakenne ja kunto sekä ravinteiden määrä. Pesäkkeiden lukumäärä verkostovedessä on standardin EN-SFS ISO 6222 mukaan alle 100 pmy/ml (22 °C). Jos verkostovedessä ilmenee toistuvasti korkea pesäkeluku (22 °C, yli 100 pmy/ml), tulee vesilaitoksella suorittaa verkoston huuhtelu tai lisätä desinfiointiaineen määrää vedessä. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3.)

Pesäkeluvun 37 °C seuranta kannattaa sisällyttää osaksi talousveden käyttötarkkailua. Sen avulla voidaan seurata raakaveden laatua, verkoston mikrobiologista kasvua ja desinfioinnin vaikutusta. Kasvatusalustana on standardin EN-SFS ISO 6222 mukainen tryptoni-hiivauuteagar 36±2 °C viljelylämpötilassa. Pesäkeluvun (37 °C) tulisi puhtaassa vedessä olla alle 10 pmy/ml. Standardin EN-SFS ISO 6222 sijaan pesäkkeiden lukumäärän määrittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi R2A-kasvatusalustaa (7 vrk, 20 °C) erityisesti verkostomikrobien määrän seurantaan. R2A-menetelmällä pesäkkeiden lukumäärä on usein suurempi, ja menetelmä tuo myös esille hitaasti kasvavia mikrobilajeja (homeet ja sädesienet). (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 5.)

6.1.5 Hiivat ja homeet

Mustalammen laitoksen vedestä tutkittiin myös hiivat ja homeet. Hiivoja ja homeita ei tyypitetä erikseen siten, mikä hiiva tai home on kyseessä. Hiivoille ja homeille ei ole olemassa lainsäädännöllisiä vaatimuksia, mutta yleisesti niitä ei saa olla vedessä lainkaan. Veteen joutuessaan homeet voivat aiheuttaa väri- ja makuhaittoja. Veden seisottaminen ja lämpeneminen voivat aiheuttaa homeiden lisääntymisen. Homekasvustoa sisältävää vettä ei saa juoda. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 12 on hiivojen ja homeiden kasvatusalusta. (Lapinlampi, Sipilä, Hatva, Kivimäki, Kokkonen, Kosunen, Lammila, Lipponen, Santala & Rissanen 2001, 72.)

KUVA 12. Hiivat ja homeet (Linda Vikman 2012)

6.2 Kemialliset analyysit

Mustalammen laitoksen vedestä tehdään kymmeniä erilaisia vesianalyysejä. Mikrobiologisten analyysien lisäksi tehdään kemiallisia analyysejä, joita ovat esimerkiksi rauta, mangaani, kloori, hiilidioksidi, pH, sameus, sähkönjohtokyky, alkaliteetti, väri, trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni. Näistä analyyseistä ja niiden suorituksesta kerrotaan alla olevissa kappaleissa.

6.2.1 Rauta ja mangaani

Rauta ja mangaani ovat yleisimpiä metallikäyttöhaittoja talousvedessä. Rautaa esiintyy Suomessa pohjavesissä ja pintavesissä. Pintavesissä rauta on sitoutuneena humukseen eli orgaaniseen ainekseen. Rautaa voi myös liueta verkostoveteen jakeluverkon ja jakelulaitteiden materiaaleista, kuten galvanoidusta teräksestä tai valuraudasta. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 20.)

Vesijohtolaitteisiin syntyy yleensä mikrobeista muodostunut kasvusto, ns. biofilmi, joka sitoo itseensä vesijohtovedessä olevaa rautaa. Tällöin hyvinkin pienet rautamäärät voivat saostua veteen ja aiheuttaa virtaussuuntien vaihteluiden vaikutuksesta liikkeelle läh-

tiessään veteen laatuvirhettä. Esimerkiksi Mustalammen laitoksella virtaussuuntien muutoksista johtuen vedessä on ilmennyt laatuvirhettä. Myös rautasuolojen käyttö vedenkäsittelyssä saattaa aiheuttaa kohonneita rautapitoisuuksia. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 20.) Liian suuri rautapitoisuus on yksi yleisimmistä ongelmista Suomen pohjavesissä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 225.)

Rauta aiheuttaa teknis-esteettisiä haittoja talousveteen eli värihaittoja, kuten ruosteen ruskeaa väriä saniteetti- ja talouskalusteisiin, ruostetahroja pesuvaatteisiin ja veteen metallisen maun. Jo 50 µg/l rautapitoisuus voi synnyttää rautasaostumia. Verkostoveden laatusuosituksissa raudan enimmäispitoisuudeksi on asetettu 200 µg/l. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 20.)

Mangaania esiintyy korkeina pitoisuuksina pohjavesissä varsinkin raudan yhteydessä, mutta myös pintavesien pitoisuudet voivat olla kohonneita. Mangaanin poisto on huomattavasti vaikeampaa kuin raudan poisto vedenkäsittelyssä. Mangaani saattaa suurina pitoisuuksina aiheuttaa neurotoksisia oireita. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 18.) Neurotoksisia oireita voivat olla esimerkiksi pahoinvointi, vapina ja päänsärky (Hirvonen, M-R). WHO:n esittämä terveysperusteinen mangaanin ohjearvo on 0,5 mg/l, ja mangaanin STM 461/2000 laatusuosituksen mukainen enimmäispitoisuus verkostovedelle on 0,05 mg/l. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 18.)

Mangaani voi aiheuttaa veteen ja siitä valmistettuihin juomiin epämiellyttävää makua, tummia saostumia saniteetti- ja talouskalusteisiin sekä tahroja pyykkiin. Mangaani on hienojakoista, ja se kertyy helposti putkiston mutkiin. Mangaani saattaa jopa tukkia putkia. Jo hyvin pienetkin pitoisuudet (0,02 mg/l) voivat synnyttää saostumia vedenjakelulaitteisiin, joiden synnyssä bakteerit edesauttavat. Mangaanin kerrostumat kertyvät usein lähellä vedenottamoa oleviin päävesijohtoihin. Mangaania voidaan poistaa vedestä esimerkiksi verkostohuuhteluin. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 18.)

Mikäli pohjaveden happipitoisuus on pieni tai vesi on hapetonta, saattaa mangaania esiintyä pohjavedessä huomattavasti enemmän. Mangaania esiintyy pohjavesissä usein raudan yhteydessä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 225.)

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 13 on nähtävissä spektrofotometri, jonka avulla rauta ja mangaani määritettiin laboratoriossa. Rauta ja mangaani voidaan myös määrit-

tää laitoksella sivulla 47 kuvassa 14 olevalla kannettavalla spektrofotometrilla. Raudan määrityksessä näytteet kestävöidään ensin rikkihapolla, ja niihin lisätään kaliumperoksidisulfaattia hapettimeksi Sitten näytteet keitetään painekattilassa tai autoklaavissa ja jäähdytetään Lopuksi näytteisiin lisätään reagenssiliuoksia värireaktion muodostumiseksi. Värin voimakkuus on verrannollinen näytteen sisältämään rautapitoisuuteen. Vesinäytteiden rautapitoisuudet määritetään spektrofotometrin avulla. Nollanäytteenä on ioninvaihdettu vesi.

KUVA 13. Spektrofotometri (Kuva: Linda Vikman 2012)

Spektrofotometri mittaa näytteeseen kulkeutuvan valon ja näytteen läpi kulkeneen valon intensiteettien suhteen aallonpituuden funktiona. Kyseinen spektrofotomeri on UV-VIS-spektrofotometri. Ultraviolettisäteilyn (UV) ja näkyvän valon (Vis) spektrin aallonpituusalue on suunnilleen välillä 190…1000 nm. UV-VIS-spektrofotometrin toiminta perustuu siihen, että analysoitava näyte asetetaan näytteen läpäisevän valon eteen kyvettiin. Lambert-Beerin lain mukaan absorbanssi on suoraan verrannollinen valonsäteen kulkemaan matkaan ja siten kyvetin paksuus vaikuttaa absorbanssin tarkkuuteen. (Jaarinen & Niiranen 2008, 54–55, 58).

6.2.2 Kloori

Aktiivisen kloorin eli kloorijäämän kokonaismäärä koostuu sekä vapaasta kloorista että sidotusta kloorista. Sidottu kloori tarkoittaa etenkin klooriamiineihin sitoutunutta kloo-

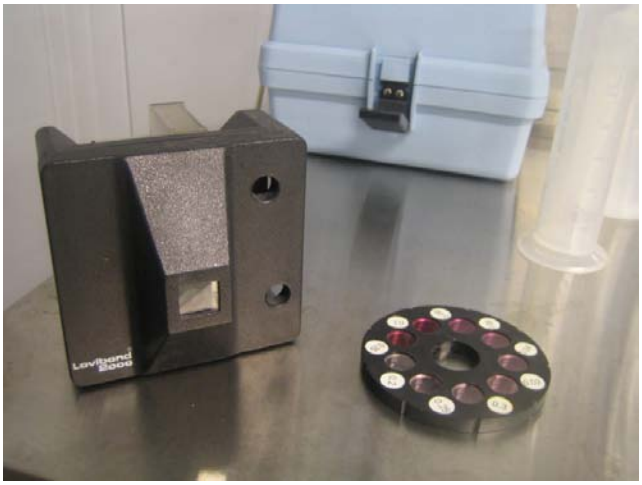
ria. Klooriamiineihin kuuluvat monoklooriamiini, diklooriamiini ja triklooriamiini. Vapaa kloori taas koostuu alikloorihapokkeeseen, klooriin ja hypokloriittiin sitoutuneesta kloorista. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 22.)

Talousveden klooripitoisuudelle ei ole annettu tarkkoja ohjearvoja, sillä talousveden desinfiointiin tarvittavan kloorin määrä riippuu orgaanisten aineiden ja ammoniakin määrästä, desinfioitavan veden laadusta, verkoston kunnosta ja veden viipymästä vesijohtoverkostossa. Veden desinfiointia pidetään riittävänä silloin, kun klooria on todettavissa vesijohtoverkoston kaikissa osissa. Talousveden sisältämän aktiivisen kloorin pitoisuus on tavallisesti alle 1,0 mg/l. Sidotun kloorin (esim. klooriamiini) etu vapaaseen klooriin nähden on parempi säilyvyys verkostossa ja vähäisempi orgaanisten klooriyhdisteiden muodostuminen. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 22.)

Klooria voidaan mitata monella eri laitteella. Kuvassa 14 on nähtävissä kannettava spektrofotometri HACH DR/890 ja HACH:n kolorimetri. Kannettavan spektrofotometrin ja kolorimetrin toimintaperiaatteet ovat samanlaiset. Mittauksessa näytettä verrataan nollanäytteeseen, joka on ioninvaihdettua vettä. Kannettavalla spektrometrilla voidaan mitata kloorin lisäksi myös rautaa ja mangaania.

KUVA 14. Kannettava spektrometri ja kolorimetri (Kuva: Linda Vikman 2012)

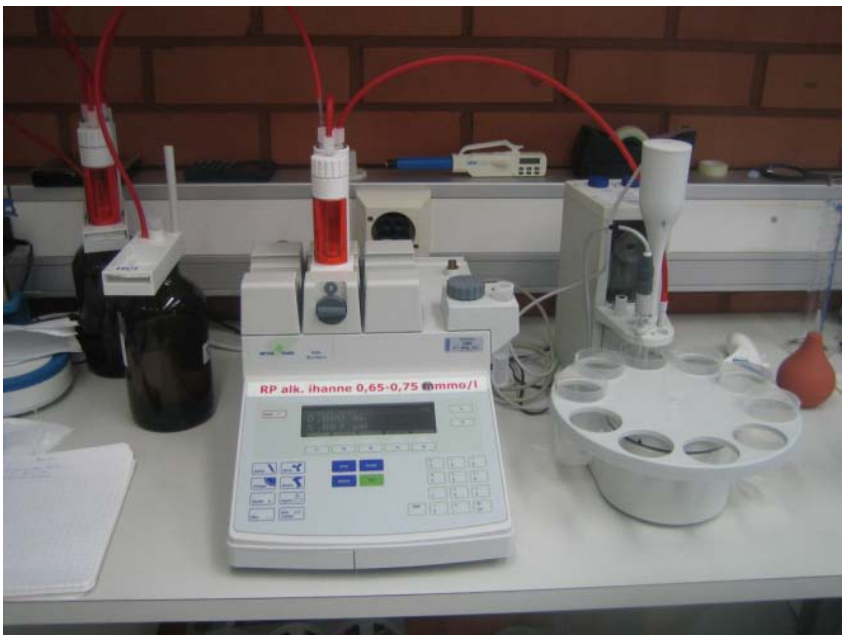
Alla olevassa kuvassa 15 on komparaattori, jolla voidaan mitata klooria. Näyteliuosta verrataan vertailukiekkoihin, ja klooripitoisuus tulkitaan visuaalisesti komparaattorin avulla.



KUVA 15. Komparaattori (Kuva: Linda Vikman 2012)

6.2.3 Hiilidioksidi ja alkaliteetti

Raakaveden ja käsitellyn veden hiilidioksidin määritys soveltuu veden alkaloinnin tarpeen ja kovuuden säätöön käyttötarkkailussa. Hiilidioksidi ja alkaliteetti määritettiin titrimetrisesti sivulla 49 kuvassa 16 olevan titraattorin avulla. Hiilidioksidia tutkittaessa näytteet siirrettiin lapon avulla näytepulloista 100 ml tai 200 ml mittapulloihin, joihin lisättiin 10 tippaa fenolftaleiinia eli indikaattoriliuosta ja näytteet titrattiin 0,1 M NaOH:lla magneettisekoittajan avulla. NaOH:n kulutuksesta saatiin laskettua hiilidioksidipitoisuus.



KUVA 16. Hiilidioksidin ja alkaliteetin määritys (Kuva: Linda Vikman 2012)

Alkaliteetilla tarkoitetaan veden kykyä vastustaa happolisäyksestä aiheutuvaa pH-lukeman muutosta. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 22.) Mitä korkeampi alkaliteetin lukema on, sitä enemmän happoa yhden yksikön pH:n muutos tarvitsee. Alkaliteetti kuvaa veden kykyä neutraloida happoja (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 215).

Vesilaitoksilla alkaliteetti aiheutuu lähinnä bikarbonaatista, joka on hiilihapon suola. Bikarbonaattia muodostuu hiilidioksidista vettä alkaloitaessa, ja sitä on lähes aina raakavedessä. Verkostoveden alkaliteetti pyritään pitämään yli 0,60 mmol/l tasolla. Alkaliteetille ei ole säädetty tiettyjä talousvesiasetuksen (461/2000) mukaisia raja-arvoja. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 22.)

Liian alhainen alkaliteetti voi osaltaan lisätä putkistoverkoston korroosiota ja raudan liukenemista verkostomateriaaleista. Alkaliteetin alhaiset arvot (alle 0,5–0,6 mmol/l) voivat aiheuttaa korroosiota, joka aiheuttaa kohonneita rautapitoisuuksia varsinkin pintavesilaitoksilla. Alkaliteetti määritettiin potentiometrisesti titraamalla suolahapolla pH-arvoon 4,5 kuvassa 16 olevan laitteiston avulla. Näytemäärä oli 80 ml. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 22.)

Puhtaassa vedessä, jätevedessä ja jopa puhtaassa sadevedessä on käytännöllisesti katsoen aina hiilidioksidia ($C0_2$), joka onkin tärkein heikko happo. Hiilidioksidin ja eräiden

metallien karbonaattien reaktiot ovat tärkeitä niin vesihuoltotekniikassa, vesistöissä, pohjavedessä ja muissa luonnon olosuhteissa. Vedessä hiilidioksidi on usein hiilihappona (H_2CO3), jota kuvaa alla oleva kemiallinen kaava (3)

$$CO_2 + H_2 0 \rightarrow H_2CO_3 \quad (3)$$

Suomen pohja- ja pintavesissä vetykarbonaatteja on kuitenkin yleensä suhteellisen vähän. Vetykarbonaatti ($HC0_3^-$) on vetyä sisältävä hiiliyhdiste. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 218.)

6.2.4 pH

Veden happamuuden indikaattorina käytetään yleisesti pH-arvoa (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y 2003, 219). Suomen pohjavesien ja pintavesien pH-arvo on yleensä lievästi hapan (alueella pH 6–7) humusperäisestä maaperästä johtuen. Ellei vettä ole alkaloitu, vedenjakelulaitteissa käytetyt materiaalit, kuten valurauta, kupari ja sinkitetty teräs usein syöpyvät. Mikäli pH-arvo laskee alle pH 7,1, alkavat metallit syöpyä putkistosta. Kun pH-arvo on oikealla tasolla, putkistomateriaalit eivät syövy eikä veden laatu heikkene putkistomateriaalin syöpymisestä johtuen. Sopiva pH-arvo on välillä pH 7,0–8,8. Syöpyminen riippuu myös veden alkaliteetin arvosta ja kalsiumpitoisuudesta. Korroosion eli haitallisen syöpymisen kannalta pH-arvon tulisi olla tasainen. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 19.)

Talousveden pH-arvo voi nousta arvon 9,0 yläpuolelle alkalointikemikaalien virheellisen annostuksen, laitteiden toimintahäiriöiden tai sementtiä sisältävien putkimateriaalien takia. Mikäli veden pH-arvo nousee arvon 10,5 yläpuolelle, on vesi hyvin alkaalista ja ilmenee usein veden vaahtoamisena ja outona makuna. Tällainen vesi saattaa aiheuttaa suun ja nielun limakalvoärsytystä sekä peseytyessä ärsyttää silmiä ja ihoa. Terveysperusteista raja-arvoa pH:lle ei ole, sillä pH-arvon terveyshaitat riippuvat myös alkaliteetista, veden käyttömäärästä ja käyttäjästä. Talousveden pH:n tulisi laatusuositusten mukaan olla alueella pH 6,5–9,5, mutta käytännössä pyritään arvoon pH 7,0–8,8, jottei vesi olisi syövyttävää eikä kalkkisaostumia sisältävää. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 19–20.)

Alla olevassa kuvassa 17 on pH-mittaukseen tarvittavat välineet: pH-mittari, magneettisekoittaja ja pH-elektrodi. Mittauksessa näytteenottoastiaan kaadetaan noin 80 ml näytettä, pH-elektrodi asetetaan näyteastiaan ja pH-lukema luetaan digitaalisesta pH-mittarista.

KUVA 17. pH-mittaus (Kuva: Linda Vikman 2012)

Kuvassa 18 on pH-mittari ja pH:n kalibrointiliuokset. pH-mittaus suoritettiin myös paikan päällä Mustalammen laitoksella. pH-mittauksessa pH-elektrodi asetettiin näytteeseen ja lukema katsottiin pH-mittarin näytöltä. pH-mittari tulee kalibroida kerran kuukaudessa pH-mittausta varten. Kalibrointi suoritettiin kalibrointiliuosten avulla (pH 7.00, pH 9.21 ja pH 14.01). pH-mittarin kalibroinnissa pH-elektrodi asetettiin kerran kuhunkin pH:n kalibrointiliuokseen, aluksi pH 7.00, sitten pH 9.21 ja lopuksi pH 14.01. Kalibroinnissa mitattiin vielä jännitteen arvot (mV) pH-mittarilla.

KUVA 18. pH-mittari ja kalibrointiliuokset (Kuva: Linda Vikman 2012)

6.2.5 Sähkönjohtokyky

Veden sähkönjohtokyky mittaa veteen liuenneiden mineraalisuolojen määrää. Veden sähkönjohtavuus kuvaa ainoastaan veteen liuenneiden suolojen määrää, jonka vuoksi veden sähkönjohtokyvyn perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä veden terveydellisistä vaikutuksista. Sähkönjohtokyvyn laatusuositus on 2500 µS/cm eli 250 mS/m. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 21.)

Liian suuri veden sisältämien suolojen määrä saattaa aiheuttaa korroosiota, joten sen välttämiseksi sähkönjohtavuuden arvon tulisi pysyä alle laatusuositusten. STS standardin mukainen lukema (mS/m) on kerrottava luvulla 10, jotta saataisiin talousvesiasetuksen (461/2000) mukainen lukema (µS/cm). Kuvassa 19 on nähtävissä sähkönjohtokykymittari. Sähkönjohtokyky mitataan asettamalla elektrodi näyteliuokseen ja mittaamalla sähkönjohtokyky mittarin avulla. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 21.)

KUVA 19. Sähkönjohtokykymittari (Kuva: Linda Vikman 2012)

6.2.6 Sameus ja väri

Sameus ja väri ovat yleisimpiä käyttäjien havaitsemia veden laadun ominaisuuksia. Tavallisin käyttäjien havaitsema sameuden aiheuttaja on ilma, joka vedestä haihtuessaan samentaa talousveden. Ilmasta aiheutuva talousveden sameus häviää nopeasti, jos veden annetaan seistä esimerkiksi vesilasissa. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 21.)

Talousveden sameus saattaa johtua vedessä olevasta raudasta, savesta tai kolloidisista yhdisteistä. Monet raskasmetallit, pestisidit, bakteerit ja orgaaniset klooriyhdisteet adsorboituvat usein kiintoainepartikkeleihin, mitkä aiheuttavat sameutta. Hiukkasista johtuva veden sameus saattaa häiritä talousveden desinfiointia. Lähtevän talousveden sameusarvon tulisi olla alle 1 NTU. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 20–21.)

Sameus mitataan turbidometrisesti. Sameus on vedessä oleva liukenematon aines, joka aiheuttaa läpinäkyvyyden heikkenemisen. Sameuden määrä saadaan mittaamalla läpäistyn ja eteenpäin sironneen säteilyn voimakkuus. Kuvassa 20 on HACH:in IS sameusmittari ja mittauksessa käytettäviä kyvettejä. Näyte kaadetaan kyvettiin merkkiin asti ja kyvetti asetetaan sameusmittariin. Alhaisin lukema on oikea tulos. (Mattila 2002, 1.)

KUVA 20. Sameusmittari (Kuva: Linda Vikman 2012)

Veden värilukua voivat lisätä esimerkiksi humushapot sekä metallit, kuten mangaani ja rauta. Monet orgaaniset aineet ja raskasmetallit voivat olla humushappoihin sitoutuneena. Veden värillisyys on teknis-esteettinen ongelma. Vedenkäsittelyllä pyritään vähentämään kloorauksessa syntyvien haitallisten aineiden määrää, jotka lisäävät värilukua. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 25.)

Yleensä samealla vedellä on korkea väriluku. Niin väriluvulla kuin sameudellakaan ei ole suoraa yhteyttä haitallisiin terveysvaikutuksiin. Sivulla 54 olevassa kuvassa 21 on kolorimetri, jolla väriluku tutkittiin. Väriluku voidaan tutkia kaatamalla mittalasiin näy-

tettä ja vertaamalla näytteen väriä vertailukiekkojen avulla. Nollanäytteenä käytetään ioninvaihdettua vettä. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 25.)

KUVA 21. Värin määritys kolorimetrillä (Kuva: Linda Vikman 2012)

6.2.7 Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)

TOC (total organic carbon) tarkoittaa orgaanisen hiilen kokonaismäärää. Se kuvaa veden sisältämän orgaanisen aineksen määrää, kuten kaliumpermanganaattiluku ($KMnO_4$-luku). TOC antaa kaliumpermanganaattilukua todenmukaisemman kuvan orgaanisen aineksen kokonaismäärästä, sillä TOC-mittaustulos ei riipu orgaanisten aineiden hapettuvuudesta. Näin esimerkiksi veden rautapitoisuus ei häiritse TOC- määritystä. Pohjaveden TOC-lukema on yleensä noin 0,5 mg/l, ellei vesi sisällä humusta. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 19.)

Humus on vedessä olevaa eloperäinen, orgaaninen aines, joka antaa vedelle tyypillisen ruskeankeltaisen värin. Humus on vain osa veden sisältämistä orgaanisista aineista, muita orgaanisia ainesosia voivat olla esimerkiksi eläinplankton, kasviplankton ja bakteerit. (Suomen ympäristökeskus.)

Orgaanisen kokonaishiilen määrä (TOC) sisältyy laatusuosituksiin ja TOC:in pitoisuutta on seurattava, mikäli talousveden jakelumäärä on vähintään 10 000 m^3 päivittäin. TOC:in määritystä voidaan käyttää vaihtoehtoisena menetelmänä kaliumpermanganaattiluvun ($KMnO_4$-luku) sijaan. Mustalammen laitoksella ei tutkittu lainkaan $KMnO_4$-lukua, vaan sen sijaan TOC:in arvo. TOC-pitoisuudelle ei ole määritetty talousvesiasetuksen (461/2000) mukaista raja-arvoa. Direktiivin valmistelun aikana esillä oli lukema 4,0 mg/l, joten sitä lukemaa voitaneen pitää tavoitteellisena raja-arvona. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 19.)

Tampereen Veden omien laatuvaatimusten mukaisesti raakaveden TOC-pitoisuuden mitoitusarvojen tulisi olla 1,0–1,5 mg/l, mikä on huomattavasti alempi lukema kuin 4,0 mg/l. Kuvassa 22 on TOC:in määritykseen käytettävä mittauslaitteisto. (Jokihaara & Takamaa 2010, 2.)

KUVA 22. TOC-mittauslaitteisto (Kuva: Linda Vikman 2012)

6.2.8 Trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni

Trikloorieteeniä käytetään metalliteollisuudessa rasvanpoistoon, kemianteollisuuden raaka-aineena ja kemiallisissa pesuloissa. Trikloorieteeni haihtuu ilmakehään tetrakloorieteeniä helpommin ja kulkeutuu maaperässä nopeammin kuin tetrakloorieteeni. Vedessä trikloorieteeni voi hajota vinyylikloridiksi. Pitkäaikainen altistuminen kohonneille trikloorieteenipitoisuuksille voi johtaa maksan toimintahäiriöihin. Trikloorieteeni saat-

taa olla karsinogeeninen. WHO:n laatusuositusten tilapäinen raja-arvo 70 µg/l ei kuitenkaan perustu syöpäriskiin. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 14–15.)

Tetrakloorieteeniä käytetään kemiallisissa pesuloissa ja tekstiiliteollisuudessa. Tetrakloorieteeni on toiselta nimeltään perkloorieteeni. Kyseistä kemikaalia on käytetty metalliteollisuudessa rasvanpoistamiseen. Kemikaali on maaperässä kulkeutumiskykyinen, kun taas vedessä se voi hajota dikloorieteeniksi, vinyylikloridiksi ja eteeniksi. Pitkäaikainen altistuminen kohonneille tetrakloorieteenipitoisuuksille voi johtaa munuaisen, maksan ja keskushermoston toimintahäiriöihin. Tetrakloorieteeni saattaa olla myös karsinogeeninen. WHO:n laatusuositusten mukainen tilapäinen raja-arvo 40 µg/l ei perustu mahdolliseen syöpäriskiin. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 13–14.)

Tri- ja tetrakloorieteenin summapitoisuuden raja-arvoksi on asetettu STM 461/2000 mukaan 10 µg/l. Raja-arvo on noin kymmenesosa WHO:n laatusuosituksista. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 14.)

7 VESIANALYYSIEN TULOKSET

Opinnäytetyön aikana näytteenottokertoja oli yhteensä 47 kappaletta. Yhdellä näytteenottokerralla näytteitä otettiin 1-4 näytteenottopisteestä. Jos lasketaan kaikkien näytteenottojen aikana otetut näytteet, niin eri näytteenottokerroilla eri näytteitä otettiin yhteensä 124 kappaletta. Laitoksella tehtiin lisäksi lukuisia erillisiä paikallismittauksia. Kaikista näytteistä tehtiin yhteensä 590 analyysia, joista saatiin 1 254 tulosta. Vesinäytteistä tehtiin analyysejä tarpeen mukaan.

Tässä opinnäytetyössä ei ole esitetty kaikkia vesianalyysien tuloksia, sillä veden laatu ei vaihdellut päivittäin. Tässä luvussa tarkastellaan veden laatua ennen shokkikloorausta ja shokkikloorauksen jälkeen. Puhdistusprosessin vaikutusta näytteisiin seurataan myös. Veden laatua tarkastellaan ylösajovaiheen, käyttöönottovaiheen ja laitoksen käynnistyksen aikana. Tässä luvussa esitetään myös joidenkin parametrien tason vaihtelua näytteenoton aikana. Lisäksi liitteissä 8 ja 9 on nähtävissä kaikkien vesianalyysien tulosten vaihteluvälit. Tuloksia on analysoitu ja niiden perusteella on tehty johtopäätöksiä veden laadusta.

7.1 Näytteenotto kaivovesistä

Näytteenotto aloitettiin 3.1.2012, jolloin otettiin näytteet kaivoista 1 ja 2 ja näytteistä tehtiin vesianalyysit. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 8 on esitetty vesianalyysien tulokset. Taulukosta voidaan havaita, että kaivossa 2 on yksi koliforminen bakteeri. Kokonaisbakteeripitoisuudet (Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml) ovat korkeita. Homeita on runsaasti. Lisäksi kaivossa 2 on yksi enterokokki (taulukossa 8 merkintä 0,3). Kaivovesi on raakavettä, jolle ei ole määritetty lainsäädännöllisiä raja-arvoja, joten bakteereita ei voida tulkita olevan liikaa. Vesianalyysien tulosten tutkimustodistus on nähtävissä liitteessä 1.

TOC, pH, lämpötila, alkaliteetti, rauta ja mangaani ovat Tampereen Veden talousvesiasetuksen (461/2000) laatuvaatimusten rajojen sisällä. Kaivon 1 vesi on hyvin sameaa (8,1 NTU). Näytettä otettaessa kaivon 1 vesi oli hyvin sameaa ja värillistä, mikä saattaa aiheutua rautapitoisuudesta (0,64 mg/l) tai kaivossa olevista epäpuhtauksista. Epäpuh-

taudet saattavat johtua siitä, että kaivon 1 vettä ei ole juoksutettu kovin paljon, sillä laitosta ei ollut vielä tuolloin otettu käyttöön. Veden vaihtuvuus voi parantaa veden laatua.

TAULUKKO 8. Näytteenottopäivä 3.1.2012

Mustalammen pohjavesilaitos, Näytteenottopäivä 3.1.2012	**MU.kaivo 1**	**MU.kaivo 2**
Näytenumerot	27	28
Kolif. bakt. 37°C pmy/100ml	0,0	1,0
Pesäkel. 37°C 2d pmy/ml	10	19
Pesäkel. 22°C 3d pmy/ml	>350	480
Fek. kolit 44°C pmy/100ml	0,0	0,0
Hiivat CFU/100ml	0,0	0,0
Homeet CFU/100ml	runs.	runs.
Enterokokit pmy/100ml	0,0	0,3
TOC mg/l	0,97	1,3
Lämpötila °C	10	9
pH	6,4	6,4
Sameus NTU	8,1	0,38
Sähk. joht. 25°C mS/m	27,8	28,4
Alkaliteetti mmol/l	0,98	0,97
Fe mg/l	0,64	0,02
Mn mg/l	0,05	<0,010
Kovuus °dH	4,8	5,0
Kovuus mmol/l	0,87	0,90

7.2 Näytteenotto kaivovesistä 11.1.2012

Toinen näytteenottokerta on 11.1.2012. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 9 on nähtävissä näytteenoton tulokset. Kyseessä on laaja määritys, jonka perusteella pystyttiin kartoittamaan vedenkäsittelyprosessin tarvetta. Taulukosta 9 voidaan havaita, että kaivossa 1 on yksi koliforminen bakteeri ja yksi enterokokki. Kaivoissa 1,2 ja 3 on korkeita kokonaisbakteeripitoisuuksia (Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml). Kaivoissa 2,3 ja 4 esiintyi jonkin verran homeita.

Kaivon 2 vesi oli silmämääräisesti katsottuna sameaa. Kaivossa 3 syövyttävyysominaisuuksista pH talousvesiasetuksen (461/2000) raja-arvoa (pH 6,5–9,5) hieman happamampi, mutta alkaliteetti on hyvällä tasolla. Kaikissa kaivoissa kloridipitoisuus (Cl) on talousvesiasetuksen raja-arvojen ylärajoilla. Tuloksista havaitaan, että vesi on hyvin

tyypillistä pohjavettä (vrt. s. 17). Veden hiilidioksidipitoisuus on korkea ja vedessä on rautaa ja mangaania.

TAULUKKO 9. Näytteenottopäivä 11.1.2011

Mustalammen pohjavesilaitos, näytteenotto 11.1.2012	**Kaivo 1**	**Kaivo 2**	**Kaivo 3**	**Kaivo 4**
Näytenumerot	108	109	110	111
Kolif. bakt. 37 °C pmy/100ml	1	0,0	0,0	0,0
Pesäkel. 37 °C 2d pmy/ml	0	5	0	3
NO_2-N µg/l	2	1	1	<1,0
Sameus NTU	0,14	0,88	0,09	0,12
Sähk. joht. 25 °C mS/m	27,8	28,3	27,3	28,7
Alkaliteetti mmol/l	0,95	1	0,84	0,96
Bikarb.kov. °dH	2,7	2,9	2,4	2,7
Bikarbon. mg/l	58	64	51	59
Cl mg/l	23	25	24	25
F mg/l	0,15	0,21	0,16	0,17
Kok-P µg/l	5	4	5	<2.0
Kovuus °dH	5	4,8	5,1	5,1
Kovuus mmol/l	0,89	0,87	0,91	0,93
NH_4-N µg/l	15	3	2	2
NO_3-N mg/l	1,6	2,1	1,8	2
Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml	>350	>350	>350	60
PO_4-P µg/l	4	<2,0	4	<2,0
SO_4 mg/l	43	38	43	43
Väri mgPt/l	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
Al mg/l	<0,02	0,02	<0,02	<0,02
Happi mg/l	5	9	4,9	5,6
pH	6,5	6,5	6,2	6,3
Fe mg/l	0,35	0,09	0,11	<0,02
Mn mg/l	0,02	0,02	0,09	<0,010
TOC mg/l	0,74	1,5	0,63	0,93
Hiivat CFU/100ml	0	4	0,8	8
Homeet CFU/100ml	0	45	17	33
Enterokokit pmy/100ml	0,3	0,0	0,0	0,0
Fek. kolit 44 °C pmy/100ml	0,0	0,0	0,0	0,0
CO_2 mg/l		39	63	60

7.3 Näytteenottopäivä 2.2.2012

Näytteenotto 2.2.2012 oli ensimmäinen näytteenotto shokkikloorauksen jälkeen. Trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni poistettiin vedestä ilmastustorneissa. Taulukossa 10 on 2.2.2012 otettujen raakavesikaivojen näytteiden tetrakloorieteenin ja trikloorieteenin tulokset. Myös liitteessä 2 on nähtävissä vesianalyysien tulosten tutkimustodistus. Verkostovedessä tetrakloorieteenin ja trikloorieteenin yhteenlaskettu pitoisuus tulisi olla alle 10 µg/l. Raakavedelle ei ole olemassa lainsäädäntöä.

TAULUKKO 10. Näytteenottopäivä 2.2.2012 TCE ja PCE

Mustalammen pohjavesilaitos, Näytteenottopäivä 2.2.2012	**MU.kaivo 1**	**MU.kaivo 2**	**MU.kaivo 3**	**MU.kaivo 4**
Näytenumerot	661	662	663	664
Tetrakloorieteeni µg/l	1,0	<1,0	1,0	1,3
Trikloorieteeni µg/l	9,3	7,9	10	13

Sivulla 61 olevassa taulukossa 11 on nähtävissä saman päivän näytteenoton muita tuloksia. Liitteessä 3 on nähtävissä vesianalyysien tulosten tutkimustodistus. Taulukosta 11 voidaan havaita, miten shokkiklooraus on vaikuttanut veden laatuun. Pesäkeluvut (22 °C ja 37 °C) ovat hyvällä tasolla, mikä osoittaa, että shokkiklooraus onnistui hyvin. Verkostoveden kemialliset analyysit täyttävät STM 461/2000 laatuvaatimukset ja laatusuositukset sekä Tampereen Veden tavoitetason. Puhtaan veden pH 7,6 on Tampereen Veden tavoitetason alarajoilla.

TAULUKKO 11. Näytteenottopäivä 2.2.2012

Mustalammen pohjavesilaitos, näytteenottopäivä 2.2.2012	**puhdas**	**raaka**	**ilmastettu vesi**	**hiekkasuodatettu vesi**
Näytenumerot	381	382	383	384
Sameus NTU	0,09	0,07	0,12	0,04
Sähk. joht. 25 °C mS/m	28,7	28,7	28,7	28,7
Alkaliteetti mmol/l	0,88	0,89	0,88	0,88
Kovuus °dH	5,3	5,3	5,3	5,3
Kovuus mmol/l	0,96	0,96	0,96	0,95
Väri mgPt/l	5	5	5	5
pH	7,6	6,3	7,6	7,6
Fe mg/l	<0,02	0,08	0,07	<0,02
Mn mg/l	0,01	0,01	<0,010	<0,010
TOC mg/l	0,74	0,81	0,69	0,71
Kok-P µg/l	4			7
ABS 254 nm	0,010	0,012	0,013	0,008
Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml	13	210		
Pesäkel. 37 °C 2d pmy/ml	0	0		
Kolif. bakt. 37 °C pmy/100ml	0,0	0,0		
PO_4-P µg/l	4			4
CO_2 mg/l		58	5,4	
Happi mg/l		3,9	12,6	
Lämpötila °C		5,9	8,6	7,0

7.4 Arseeni, antimoni, TCE ja PCE

Sivulla 62 olevassa taulukossa 12 on 13.2.2012 otettujen näytteiden tulokset puhtaasta vedestä. Näytteenottopäivänä tutkittiin arseeni (As), antimoni (Sb), tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni. Arseeni ja antimoni tutkittiin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksessä (KVVY), ja tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni tutkittiin Eurofins Scientific Finland Oy:ssa. Arseenin raja-arvo STM 461/2000:n mukaan on 10 µg/l, antimonin raja-arvo STM 461/2000:n on 5,0 µg/l ja tetrakloorieteeni- ja trikloorieteenipitoisuuksien yhteenlaskettu raja-arvo on 10 µg/l. Kaikki tulokset ovat raja-arvojen alapuolella ja ovat siten hyviä.

TAULUKKO 12. Näytteenottopäivä 13.2.2012

Mustalammen pohjavesilaitos, Näytteenottopäivä 13.2.2012	**MU.puhdas**
Näytenumerot	704
As µg/l	0,26
Sb µg/l	<0,3
Trikloorieteeni µg/l	<1,0
Tetrakloorieteeni µg/l	<1,0

7.5 Näytteenottopäivä 30.3.2012

Viimeinen näytteenotto oli 30.3.2012. Taulukossa 13 on nähtävissä kyseisen näytteenottokerran tulokset. Kaikki tulokset täyttävät talousvesiasetuksen 461/2000 laatuvaatimukset ja -suositukset sekä Tampereen Veden tavoitetason. Liitteessä 4 on vesianalyysien tulosten tutkimustodistus.

TAULUKKO 13. Näytteenottopäivä 30.3.2012

Mustalammen pohjavesilaitos, Näytteenottopäivä 30.3.2012	**MU.puhdas**	**MU.ilmastettu vesi**	**MU.puhdas Epilä-Villilä**
Näytenumerot	1269	1270	1271
Pesäkel. 37°C 2d pmy/ml	0		
Kolif. bakt. 37°C pmy/100ml	0		
pH	8,3	7,8	8,3
pH lait	8,4	7,8	8,4
Vap.Cl2 lait mg/l	0,19		0,17
Kok.Cl2 lait mg/l	0,21		0,19
Sameus NTU	0,13		0,15
CO2 mg/l		2,2	

7.6 Ylösajovaiheen, käyttöönottovaiheen ja käynnissä olevan laitoksen tuloksia

Tässä luvussa tarkastellaan raudan ja mangaanin tuloksia ylösajovaiheen aikana ja laitoksen käynnistyksen jälkeen. Raakaveden rauta, mangaani, pH ja pH laitoksella käsitellään myös tässä luvussa. Lisäksi liitteissä 6 ja 7 olevat, puhtaan veden laatua kuvaavat taulukot, käsitellään tässä kappaleessa.

7.6.1 Puhtaan veden rauta ja mangaani ylösajovaiheen aikana

Taulukossa 14 on puhtaan veden raudan ja mangaanin tulokset näytteenoton alussa ja ylösajovaiheen aikana. Näytteenottopäivänä 31.1.2012 Mustalammen laitoksen puhtaassa vedessä on ollut hieman mangaania (0,02 mg/l), joka ylittää Tampereen Veden tavoitetason. Talousvesiasetuksen 461/2000 mukainen mangaanin enimmäispitoisuus on 50 µg/l eli 0,05 mg/l, joten tulos on raja-arvojen sisällä. Näytteenottopäivänä 16.2.2012 otetussa verkoston tarkkailupisteen näytteessä rauta oli suhteellisen korkea, 0,09 mg/l. Myös 23.2.2012 otetussa näytteessä verkoston tarkkailupisteen rautapitoisuus oli suhteellisen korkea, 0,14 mg/l. Raudan enimmäispitoisuus talousvesiasetuksen 461/2000 mukaan saa olla 200 µg/l eli 0,2 mg/l, joten pitoisuudet ovat vielä asetettujen raja-arvojen sisäpuolella. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 11.)

TAULUKKO 14. Rauta ja mangaani

Mustalammen laitos, Näytteenottopäivä	Näytepiste	Näytenumero	Fe mg/l	Mn mg/l
9.1.2012	Verkoston tarkkailupiste	81	0.03	<0,010
31.1.2012	MU-puhdas	339	<0.02	0,02
2.2.2012	MU-puhdas	381	<0.02	0,01
6.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	427	0,03	<0.010
14.2.2012	MU-puhdas	528	<0.02	<0.010
15.2.2012	MU-puhdas	555	<0.02	<0.010
16.2.2012	MU-puhdas	566	<0.02	<0.010
16.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	572	0,04	<0.010
16.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	573	0,09	<0.010
20.2.2012	MU-puhdas	609	<0.02	<0.010
21.2.2012	MU-puhdas	624	<0.02	<0.010
23.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	683	0,14	<0.010
23.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	682	0,06	<0.010
24.2.2012	MU-puhdas	697	<0.02	<0.010
27.2.2012	MU-puhdas	720	<0.02	<0.010

7.6.2 Puhtaan veden rauta ja mangaani käynnistysvaiheen jälkeen

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 15 on raudan ja mangaanin tulokset laitoksen käynnistämisen jälkeen. Raudan tulokset ovat hyviä (<0,02–0,03 mg/l). Mangaanin kaikki tulokset hyviä, alle 0,010 mg/l. Laitoksen vedenpuhdistusprosessi on näiden metallien osalta toimiva, sillä rauta poistettiin vedestä ilmastustorneissa ja hiekkasuodatuksessa. Mangaani poistettiin vedestä hiekkasuodatuksessa.

TAULUKKO 15. Rauta ja mangaani, käynnistysvaihe

Mustalammen laitos, Näytteenottopäivä	Näytepiste	Näytenumero	Fe mg/l	Mn mg/l
5.3.2012	MU-puhdas	829	<0,02	<0,010
12.3.2012	MU-puhdas	926	<0,02	<0,010
12.3.2012	Verkoston tarkkailupiste	931	0,03	<0,010
19.3.2012	MU-puhdas	1062	<0,02	<0,010
26.3.2012	MU-puhdas	1171	<0,02	<0,010

7.6.3 Raakaveden rauta, mangaani, pH ja pH laitoksella

Sivulla 65 taulukossa 16 on nähtävissä raakaveden rauta, mangaani, pH ja pH laitoksella mitattuna koko näytteenoton ajalta. Taulukosta 17 havaitaan, että ensimmäisenä näytteenottopäivänä 3.1.2012 kaivossa 1 rautapitoisuus on ollut korkeahko (0,64 mg/l). Näytteenottopäivinä 11.1.2012 ja 24.1.2012 kaivossa 3 oli hieman mangaania (0,09 mg/l ja 0,06 mg/l). Raakavedelle ei kuitenkaan ole lainsäädännöllisiä laatuvaatimuksia. Tulosten perusteella arvioidaan ainoastaan raakaveden puhdistustarvetta. Laitoksella ja laboratoriossa tehdyt pH-mittaukset vastaavat hyvin toisiaan. pH on tasainen, se on koko ajan tasolla pH 6,2–6,4.

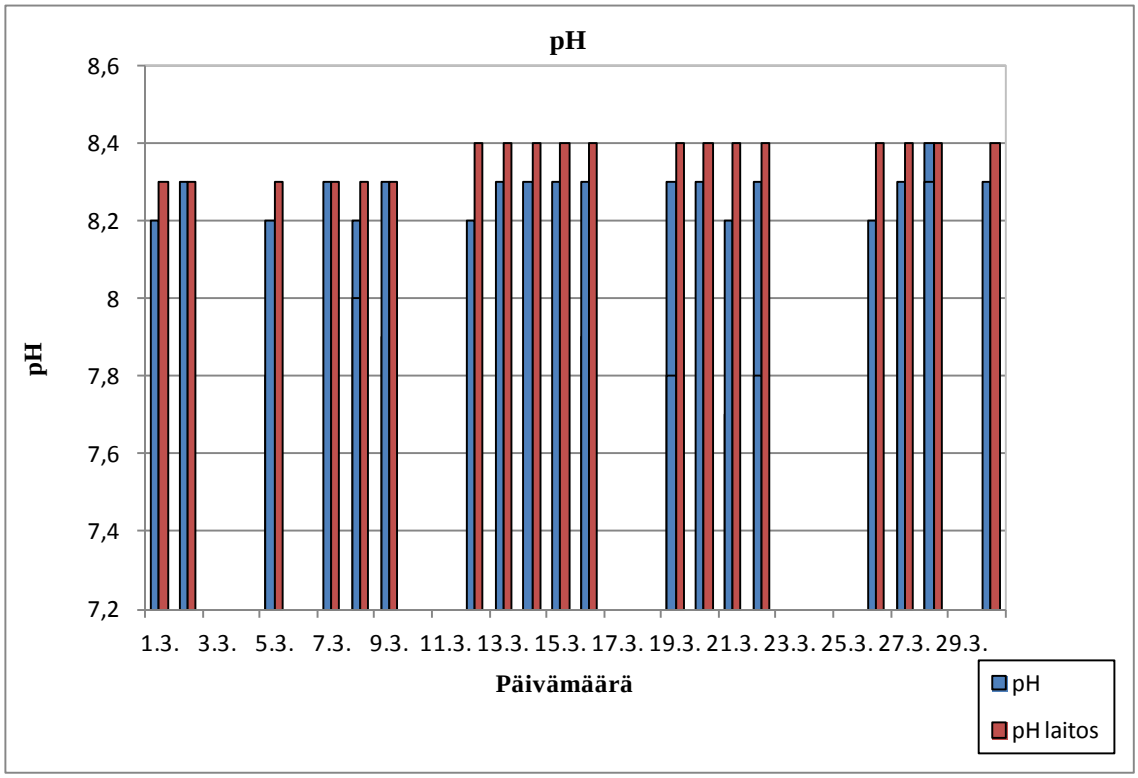
TAULUKKO 16. Raakaveden rauta, mangaani, pH ja pH lait.

Mustalammen laitos, Näytteenottopäivä	Näytepiste	Näytenumero	Fe mg/l	Mn mg/l	pH	pH laitos
3.1.2012	Kaivo 1	27	0,64	0,05	6,4	
3.1.2012	Kaivo 2	28	0,02	<0,010	6,4	
11.1.2012	Kaivo 1	108	0,35	0,02	6,5	
11.1.2012	Kaivo 2	109	0,09	0,02	6,5	
11.1.2012	Kaivo 3	110	0,11	0,09	6,2	
11.1.2012	Kaivo 4	111	<0,02	<0,010	6,3	
24.1.2012	Kaivo 1	256	0,26	0,02	6,2	
24.1.2012	Kaivo 2	257	<0,02	<0,010	6,3	
24.1.2012	Kaivo 3	258	0,05	0,06	6,2	
24.1.2012	Kaivo 4	259	0,04	0,01	6,3	
31.1.2012	MU raaka	340	0,10	<0,010	6,4	
2.2.2012	MU raaka	382	0,08	0,01	6,3	
7.2.2012	MU raaka	452	0,06	<0,010		
14.2.2012	MU raaka	529	0,04	<0,010	6,3	6,3
15.2.2012	MU raaka	556	0,04	<0,010	6,2	6,3
16.2.2012	MU raaka	567	0,04	<0,010	6,3	6,3
20.2.2012	MU raaka	610	0,03	<0,010	6,2	6,3
21.2.2012	MU raaka	625	0,02	<0,010	6,2	6,3
24.2.2012	MU raaka	698	0,03	<0,010	6,2	6,3
27.2.2012	MU raaka	721	<0,02	<0,010	6,3	6,3
5.3.2012	MU raaka	830	<0,02	<0,010	6,3	6,3
19.3.2012	MU raaka	1063	<0,02	<0,010	6,3	6,5
26.3.2012	MU raaka	1172	<0,02	<0,010	6,3	6,4

7.6.4 Puhtaan veden tulokset

Liitteessä 6 on nähtävissä puhtaan veden tuloksia ylösajovaiheen aikana. Liitteessä 6 on puhtaan veden vapaa kloori, kokonaiskloori, kokonaispesäkeluku, koliformiset bakteerit, pH ja pH laitoksella ylösajovaiheen aikana. Klooripitoisuudet ovat tasaantuneet helmikuun loppupuolella 0,20–0,30 mg/l tasolle. Tasainen kloorin syöttö ja tasainen pH-taso minimoivat putkiston korroosiohaittoja. Kloori on hyvällä tasolla. Näytteenottopäivänä 24.2.2012 puhtaassa vedessä oli yksi koliforminen bakteeri. Koliformisia bakteereita ei saisi olla verkostovedessä lainkaan STM 461/2000 mukaan. Näytteenottopäivänä 16.2.2012 Mustalammen laitoksen läheisessä näytteenottopisteessä kokonaispesäkeluku (37 °C) oli 15. Ylösajovaiheen aikana bakteereita saattaa vielä esiintyä, kun vettä ei ole juoksutettu kovin paljoa. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2001, 3–4.)

Liitteessä 7 on puhtaan veden tuloksia laitoksen käyttöönoton jälkeen. Klooripitoisuudet ovat jokseenkin tasaisia. pH on välillä 7,8–8,4. Useimmiten pH on tasainen 8,3–8,4. Kuviossa 2 on nähtävissä puhtaan veden pH laitoksen käyntivaiheen aikana. Kuvio 2 on tehty liitteessä 7 olevan taulukon pohjalta. Kuviosta 2 voidaan havaita, että pH on tasainen. pH laitoksella on ollut keskimäärin 0,1 pH-yksikköä korkeampi, kuin pH laboratoriossa mitattuna. Putkiston korroosiovaurioita voidaan vähentää säilyttämällä kloori ja pH hyvällä tasolla. Vedessä ei ole todettu lainkaan kokonaispesäkkeitä eikä koliformisia bakteereita, joten veden laatu on bakterologisesti hyvälaatuista. Veden laatu on kaiken kaikkiaan erittäin hyvä ja täyttää sille asetetut STM 461/2000 laatuvaatimukset ja Tampereen Veden omat laatuvaatimukset.



KUVIO 2. pH

7.6.5 Vesianalyysien tulosten vaihteluvälit

Liitteessä 8 on nähtävissä kaivovesien tulosten vaihteluvälit. Liitteestä 8 nähdään, että kaivovesissä on ollut hieman rautaa, mangaania ja kohonneita bakteerilukemia, kuten myös sivuilla 64–65 olevista taulukoista 16 ja 17 voidaan havaita. Muut tulokset ovat laatutavoitteiden rajoissa. Raakavedelle ei ole lainsäädännöllisiä laatuvaatimuksia.

Liitteessä 9 on puhtaan veden, Epilä-Villilän linjan (puhdas vesi), raakaveden, ilmastetun veden, hiekkasuodatetun veden sekä verkoston tarkkailupisteiden vesianalyysien tulosten vaihteluvälit. Liitteestä 9 nähdään, että puhtaassa vedessä on ollut hieman rautaa, mangaania ja kohonneita bakteerilukemia, mutta pH on ollut tasainen, kuten myös sivuilla 63–64 olevista taulukoista 14 ja 15 voidaan havaita. Muissa tuloksissa on esiintynyt pieniä poikkeamia, mutta nykyisin kaikki tulokset täyttävät STM 461/2000:n laatusuositukset ja laatuvaatimukset sekä Tampereen Veden omat laatuvaatimukset ja laatutavoitteet.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli Mustalammen pohjavesilaitoksen talousveden laadun varmistaminen. Veden laatu varmistettiin seuraamalla vedenkäsittelyprosessin tehokkuutta näytteenoton ja vesinäytteiden analyysien avulla. Käytetyt tutkimusmenetelmät ovat STM 461/2000 asetuksessa hyväksyttyjä, SFS-standardin mukaisia menetelmiä. Menetelmät ovat olleet pitkään käytössä Tampereen Veden laboratoriossa ja niistä saatuja tutkimuksia voidaan pitää luotettavina. Alihankintana teetetyt tutkimukset tehtiin akkreditoiduissa laboratorioissa luotettavin akkreditoiduin menetelmin.

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin hyvin veden laadun osalta. Mustalammen pohjavesilaitoksen vesi täyttää nykyisin tarvittavat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (461/2000) mukaiset laatuvaatimukset ja -suositukset sekä Tampereen Veden omat, vielä tiukemmat tavoitetasot. Otin itse lähes kaikki vesinäytteet, ja tein myös työhön kuuluvia vesianalyysejä. Näytteet otettiin näytteenottosuunnitelman mukaisesti, ja prosessin toiminta perustuu pitkälti prosessisuunnitelmaan. Näytteenotto ja vesianalyysien tekeminen onnistuivat hyvin.

Ylösajovaiheen aikana Mustalammen läheisessä näytteenottopisteessä verkostovedessä todettiin hieman rautaa, mikä johtunee putkistosta. Ylösajovaiheen aikana verkostoveden mangaanipitoisuus oli kerran Tampereen Veden tavoitetason ylärajoilla, mutta täytti STM:n 461/2000 laatuvaatimukset. Ylösajovaiheen aikana verkostoveden pH oli vakiotasolla pH 6,2–6,5. pH-mittaukset laitoksella ja laboratoriossa vastasivat hyvin toisiaan.

Ylösajovaiheen aikana raakavedessä oli hieman rautaa ja muutamassa näytteessä oli hieman mangaaniakin. Rauta ja mangaani saatiin hyvin poistettua vedestä puhdistusprosessissa. Ylösajovaiheen aikana raakavesikaivoissa esiintyi korkeita bakteeripitoisuuksia. Vedessä todettiin myös trikloorieteeniä ja tetrakloorieteeniä, jotka olivat jo aiemmin olleet laitoksessa ongelmana. Tetrakloorieteenin ja trikloorieteenin taso saatiin ilmastuksella sallitulle tasolle.

Shokkikloorauksen avulla vedestä saatiin desinfioitua bakteerit. Shokkikloorauksessa veden natriumhypokloriitin taso nostettiin korkeaksi ja klooripitoisuutta seurattiin. Sitten tehtiin deklooraus natriummetabisulfiitilla. Nykyisin verkostovedessä ei enää ole

esiintynyt laatuvaatimukset ylittäviä määriä indikaattoribakteereita, trikloorieteeniä eikä tetrakloorieteeniä. Mikäli laitoksen veden laadussa esiintyisi esimerkiksi kohonneita bakteeripitoisuuksia, tulisi veden laatua parantaa huuhtelun, desinfioinnin tai shokkiklooraukseen keinoin.

Mustalammen laitoksen prosessi on toimiva. Verkostonveden kloori on hyvällä tasolla, keskimäärin 0,2–0,3 mg/l. Verkostonveden pH on tasainen (keskimäärin pH 8,3–8,4). Hyvällä tasolla olevat kloori ja pH minimoivat putkiston korroosiovaurioita. Verkostovesi on bakterologisesti puhdasta indikaattoribakteerien osalta. Verkostoveden kaikki parametrit täyttävät STM:n 461/2000 laatuvaatimukset.

Mustalammen laitos tuottaa vettä Epilä-Villilään ja Tesomalle. Mustalammen pohjavesilaitos on miehittämätön laitos, jota ohjataan pääasiassa kaukokäytöllä Ruskon valvomosta. Mustalammen pohjavesilaitokselta otetaan tulevaisuudessa näytteitä lähes päivittäin. Veden laatua tarkkaillaan jatkuvasti ja poikkeamiin ollaan valmiita reagoimaan.

LÄHTEET

ECONET Group. 2012. Tampereen Veden Mustalammen pohjavedenottamo on otettu käyttöön. Luettu 10.4.2012. http://www.econetengineering.fi/uutiset46

Econet Oy. 2012. Laitteiston desinfiointipöytäkirja. Tampereen Vesi. Mustalammen vedenottamo.

Helin, J. projekti-insinööri. 2012. Haastattelu 21.4.2012. Haastattelija Vikman, L. Tampere.

Hirvonen, M-R. Mikrobien vaikutusmekanismit. Luettu 7.4.2012. http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/hirvonen_maija-riitta_kuopion_yliopisto.pdf

Isomäki, E., Britschgi, R., Gustafsson, J., Kuusisto, E., Munsterhjelm, K., Santala, E., Suokko, T. & Valve, M. 2007. Yhdyskuntien vedenhankinnan tulevaisuuden vaihtoehdot. Helsinki: Edita Prima Oy.

Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A-L. & Lahti, K. 2007. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Jaarinen, S. & Niiranen, J. 2008. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Edita.

Jokihaara, J. & Takamaa, E. 2010. Tampereen Vesi. Mustalammen vedenottamo. Toiminta- ja mitoitusselostus. AIRIX Ympäristö FMC Group. Tampere.

Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.

Katko, T. S. & Juuti, P. S. 2007. Watering the City of Tampere from the mid-1800s to the 21st Century. Tampere Water. International Water History Association. Tampere: Hermes Oy.

LAHTI. LAHDEN KAUPUNKI. Pohjaveden muodostuminen. Luettu 9.5.2012. http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/3C8B0E077DB31389C2256F650040DBEF

Lapinlampi, T., Sipilä, A., Hatva, T., Kivimäki, I., Kokkonen, P., Kosunen, J., Lammila, J., Lipponen, A., Santala, E. & Rissanen, J. 2001. Kysymyksiä kaivoista. Helsinki: Edita Oyj.

Lapin ammattiopisto. TEKNIIKAN ALA. PINTAVESI. Luettu 9.5.2012. http://www.raol.roiakk.fi/kt/rake/02-virt/vesihuol/ve_pinta.htm

Mattila, M-L. 2002. Sameuden määritys. MENETELMÄOHJE nro 14. Tampereen Vesi. Ruskon laboratorio.

Sisäilmayhdistys. 2008. Ilmanvaihdon vaikutus. Luettu 21.4.2012. http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon_vaikutus/

Seseon Automaatiopalvelu OY. 2012. Kuivakäyntisuoja KUIVIS. Luettu 7.4.2012. http://www.seseon.fi/webshop/?p=productsMore&iProduct=19

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto 1. Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.

Suomen ympäristökeskus. Mitä humus on? Luettu 8.4.2012. http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11693&lan=fi

Tampereen Vesi. 2012. Yhteystiedot. Laitosten yhteystiedot. Vedenhankinta ja käsittely. 26.3.2012. Luettu 24.4.2012. http://www.tampere.fi/vesi/yhteystiedot.html

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Talousveden valmistuksen kemialliset prosessit. Luettu 9.5.2012. http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/

Vesi- ja viemärilaitosyhdistys. 2008. Vesilaitostekniikka ja hygienia. 4.painos. Helsinki: Copy-Set Oy.

Vesi- ja viemärilaitosyhdistys. 2001. Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. LIITE 3. Helsinki: Copy-Set Oy.

Vesilaitosyhdistys. Vattenverksföreningen VVY. Talousvesi. Luettu 9.5.2012. http://www.vvy.fi/index.phtml?s=55

Vihersalo, V-V. projekti-insinööri. Haastattelu 17.4.2012. Haastattelija Vikman, L. Tampere.

Vilenius, S. laboratorioanalyytikko. Haastattelu 27.12.2011. Haastattelija Vikman, L. Tampere.

Washington State Department of Health. 2006. Drinking Water Tech Tips For Surveyors: Chlorine Contact Time for Small Water Systems. Luettu 29.4.2012. http://www.nmrwa.org/resources/training/ChlorineContactTime.pdf

WebDia. 2003. Mistä johtuvat kiertovesipumpun häiritsevät äänet? Luettu 7.4.2012. http://www.rte.vtt.fi/webdia/oljylampo/opastus/sanasto.asp?ID=108

White’s Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. 2010. Black & Veatch Corporation. 5.painos. New Jersey: WILEY.

LIITTEET

Liite 1. Näytteenotto 3.1.2012

TAMPEREEN VESI
Puhdasvesi laboratorio

Tutkimustodistus Nro TALV170/2012
3.4.2012/1

Mustalammen pohjavesilaitos
MU.kaivot
Näytteenottopäivä: 3.1.2012

Numeroiden selitys:
27 MU.kaivo 1 28 MU.kaivo 2

Määritys	Laatu	27	28
Kolif. bakt. 37°C	pmy/100ml	0.0	1
Pesäkel. 37°C 2d	pmy/ml	10	19
Pesäkel. 22°C 3d	pmy/ml	>350	480
Fek. kolit 44°C	pmy/100ml	0.0	0.0
Hiivat	CFU/100ml	0	0
Homeet	CFU/100ml	runs.	runs.
Enterokokit	pmy/100ml	0.0	0.3
TOC	mg/l	0.97	1.3
Lämpötila	°C	10	9
pH		6.4	6.4
Sameus	NTU	8.1	0.38
Sähk. joht. 25°C	mS/m	27.8	28.4
Alkaliteetti	mmol/l	0.98	0.97
Fe	mg/l	0.64	0.02
Mn	mg/l	0.05	<0.010
Kovuus	°dH	4.8	5.0
Kovuus	mmol/l	0.87	0.90

Sinikka Vilenius
laboratorioanalyytikko

Liite 2. Näytteenotto 2.2.2012, trikloorieteeni ja tetrakloorieteeni

TAMPEREEN VESI
Puhdasvesi laboratorio

3.4.2012/1

Mustalammen pohjavesilaitos
MU.kaivot

Numeroiden selitys:
661 MU.kaivo 1
662 MU.kaivo 2
663 MU.kaivo 3
664 MU.kaivo 4

Määritys	Laatu	661	662	663	664
Päivämäärä		02.02.12	02.02.12	02.02.12	02.02.12
Tetrakloorieteeni[1)]	µg/l	1.0	<1.0	1.0	1.3
Trikloorieteeni[1)]	µg/l	9.3	7.9	10	13

Alihankintalaboratoriot: 1) Eurofins Scientific Fianland Oy

Sinikka Vilenius
laboratorioanalyytikko

Liite 3. Näytteenotto 2.2.2012

TAMPEREEN VESI
Puhdasvesi laboratorio

Tutkimustodistus Nro TALV172/2012
3.4.2012/1

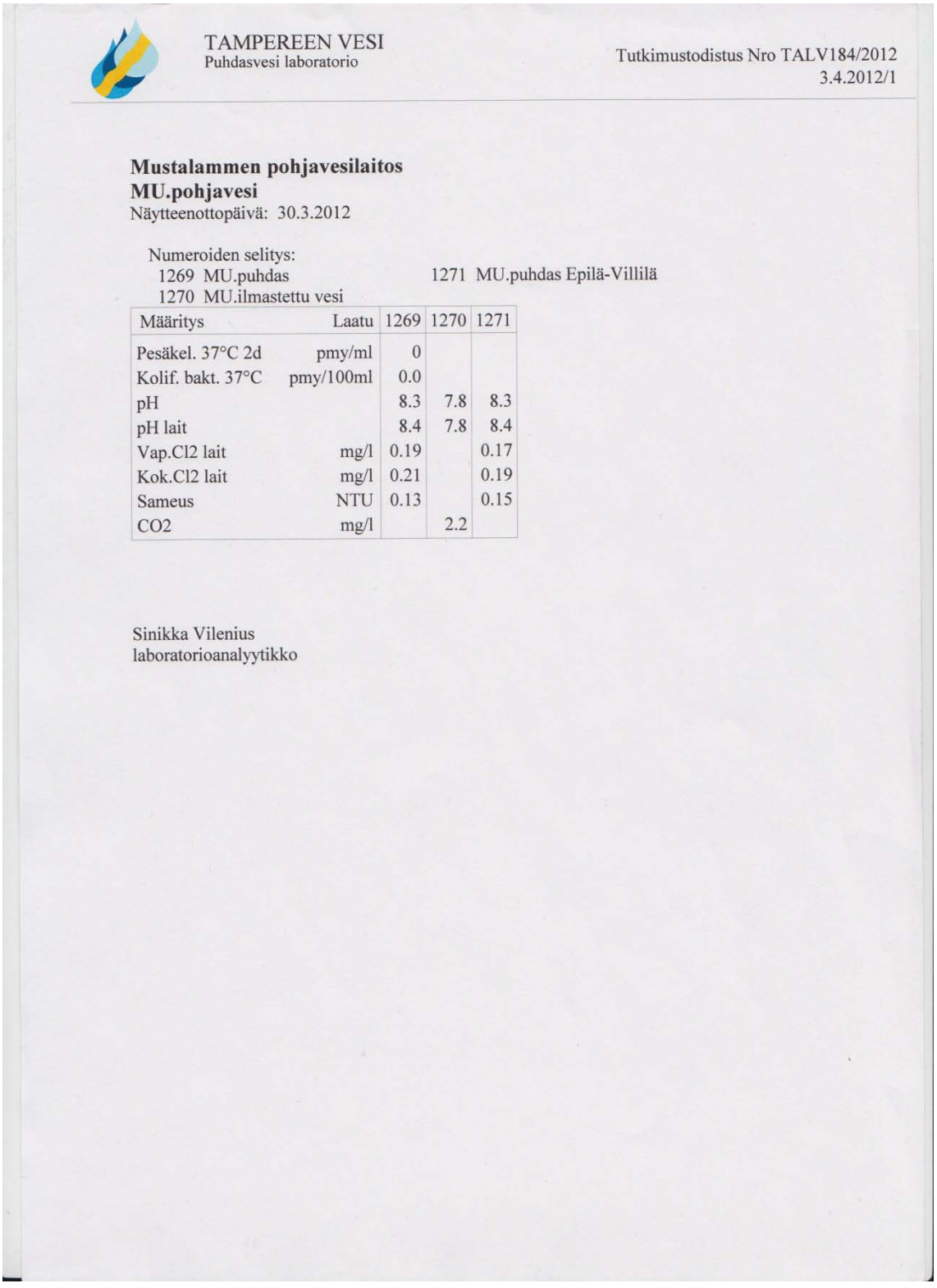
Mustalammen pohjavesilaitos
MU.pohjavesi
Näytteenottopäivä: 2.2.2012

Numeroiden selitys:
381 MU.puhdas
382 MU.raaka
383 MU.ilmastettu vesi
384 MU.hiekkasuodatettu vesi

Määritys	Laatu	381	382	383	384
Sameus	NTU	0.09	0.07	0.12	0.04
Sähk. joht. 25°C	mS/m	28.7	28.7	28.7	28.7
Alkaliteetti	mmol/l	0.88	0.89	0.88	0.88
Kovuus	°dH	5.3	5.3	5.3	5.3
Kovuus	mmol/l	0.96	0.96	0.96	0.95
Väri	mgPt/l	5	5	5	5
pH		7.6	6.3	7.6	7.6
Fe	mg/l	<0.02	0.08	0.07	<0.02
Mn	mg/l	0.01	0.01	<0.010	<0.010
TOC	mg/l	0.74	0.81	0.69	0.71
Kok-P	µg/l	4			7
ABS 254 nm		0.010	0.012	0.013	0.008
Pesäkel. 22°C 3d	pmy/ml	13	210		
Pesäkel. 37°C 2d	pmy/ml	0	0		
Kolif. bakt. 37°C	pmy/100ml	0.0	0.0		
PO4-P	µg/l	4			4
CO2	mg/l		58	5.4	
Happi	mg/l		3.9	12.6	
Lämpötila	°C		5.9	8.6	7.0

Sinikka Vilenius
laboratorioanalyytikko

Liite 4. Näytteenotto 30.3.2012



TAMPEREEN VESI
Puhdasvesi laboratorio

Tutkimustodistus Nro TALV184/2012
3.4.2012/1

Mustalammen pohjavesilaitos
MU.pohjavesi
Näytteenottopäivä: 30.3.2012

Numeroiden selitys:
1269 MU.puhdas
1270 MU.ilmastettu vesi
1271 MU.puhdas Epilä-Villilä

Määritys	Laatu	1269	1270	1271
Pesäkel. 37°C 2d	pmy/ml	0		
Kolif. bakt. 37°C	pmy/100ml	0.0		
pH		8.3	7.8	8.3
pH lait		8.4	7.8	8.4
Vap.Cl2 lait	mg/l	0.19		0.17
Kok.Cl2 lait	mg/l	0.21		0.19
Sameus	NTU	0.13		0.15
CO2	mg/l		2.2	

Sinikka Vilenius
laboratorioanalyytikko

Liite 5. Laaja määritys

Määritys	**Laatu**
TOC	mg/l
Al	mg/l
pH	
pH lait.	
Alkaliteetti	mmol/l
Sähkönjohtavuus 25 °C	mS/m
Sameus	NTU
Väri	mgPt/l
Vapaa kloori	mg/l
Kokonaiskloori	mg/l
Kloridi Cl^-	mg/l
F	mg/l
SO_4	mg/l
NH_4-N	µg/l
NO_2-N	µg/l
NO_3-N	mg/l
Kok-P	µg/l
CO_2	mg/l
Bikarbon.	mg/l
Bikarb.kov.	°dH
Kolif.bakt.37 °C	pmy/100ml
Pesäkel. 37 °C 2d	pmy/ml
Pesäkel. 22 °C 3d	pmy/ml
Hiivat	CFU/100ml
Homeet	CFU/100ml
Lämpötila	°C
Happi	mg/l
PO_4-P	µg/l
Fe	mg/l
Mn	mg/l
Kovuus	°dH
Kovuus	mmol/l
Ca	mg/l
Mg	mg/l
K	mg/l
Na	mg/l
Ca-kov.	°dH
Ca-kov.	mmol/l
Mg-kov.	°dH
Mg-kov.	mmol/l
S	mg/l
Si	mg/l
SiO_2	mg/l

Liite 6. Puhtaan veden tuloksia ylösajovaiheen aikana

Mustalammen laitos, Näytteenottopäivä	Näytepiste	Näytenumero	Vapaa kloori	Kokonaiskloori	pH	pH laitos	Kok. pes. 37 °C	Koliform.
9.1.2012	Verkoston tarkkailupiste	81			7,8			0,0
31.1.2012	MU puhdas	339			7,6			
2.2.2012	MU puhdas	381			7,6		0	0,0
6.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	427	<0,02	0,03	7,7			0,0
7.2.2012	MU puhdas	451					0	0,0
14.2.2012	MU puhdas	528	<0,02	0,04	7,8	7,9	0	0,0
15.2.2012	MU puhdas	555	0,04	0,14	8,1	8,3	2	0,0
16.2.2012	MU puhdas	566	0,02	0,05	8,3	8,4	0	0,0
16.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	569	0,22	0,30	8,3	8,4		
16.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	572	<0,02	0,03	8,2		0	0,0
16.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	573	<0,02	0,03	8,1		15	
17.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	586	0,13	0,17	8,2	8,4		
17.2.2012	MU puhdas	587	0,16	0,19	8,2	8,3	0	0,0
20.2.2012	MU puhdas	609	0,14	0,17	8,3	8,4	0	0,0
20.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	612	0,13	0,14	8,3	8,4		
21.2.2012	MU puhdas	624	0,21	0,22	8,2	8,3	2	0,0
21.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	627	0,15	0,19	8,3	8,4		
22.2.2012	MU puhdas	657	0,13	0,22	8,2	8,3	0	0,0
22.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	660	0,16	0,20	8,3	8,4		
23.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	682	0,07	0,11	8,3			0,0
23.2.2012	Verkoston tarkkailupiste	683	0,02	0,03	8,2			0,0
23.2.2012	MU puhdas	674	0,23	0,25	8,4	8,4	0	0,0
23.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	677	0,19	0,22	8,4	8,5	0	0,0
24.2.2012	MU puhdas	697	0,19	0,24	8,3	8,4	1	0,0
24.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	700	0,23	0,29	8,3	8,4		
27.2.2012	MU puhdas	720	0,21	0,26	8,4	8,4	0	0,0
27.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	723	0,22	0,30	8,4	8,4		
28.2.2012	MU puhdas	746	0,19	0,21	8,3	8,4	1	0,0
28.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	747	0,20	0,23	8,3	8,4		
29.2.2012	MU puhdas	761	0,21	0,24	8,3	8,4	0	0,0
29.2.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	763	0,23	0,26	8,3	8,4		

Liite 7. Puhtaan veden tuloksia käynnistysvaiheen jälkeen

Pvm	Näytepiste	Näytenumero	Vapaa kloori	Kokonaiskloori	Kok. pes. 37 °C	Koliform. 37 °C	pH	pH laitos
1.3.2012	MU puhdas	773	0,19	0,20	0	0,0	8,2	8,3
1.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	774	0,20	0,22			8,2	8,3
2.3.2012	MU puhdas	807	0,08	0,10	0	0,0	8,3	8,3
2.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	809	0,16	0,19			8,3	8,3
5.3.2012	MU puhdas	829	0,10	0,21	0	0,0	8,2	8,3
5.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	832	0,20	0,26			7,8	8,3
6.3.2012	MU puhdas	843	0,19	0,22	0	0,0	8,3	8,3
6.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	844	0,17	0,19			8,2	8,3
7.3.2012	MU puhdas	874	0,16	0,18	0	0,0	8,3	8,3
7.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	875	0,08	0,17			8,3	8,3
8.3.2012	MU puhdas	890	0,17	0,18	0	0,0	8,0	8,3
8.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	891	0,13	0,17			8,2	8,3
9.3.2012	MU puhdas	909	0,08	0,10	0	0,0	8,3	8,3
9.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	911	0,04	0,07			7,9	8,3
12.3.2012	MU puhdas	926	0,14	0,17	0	0,0	8,2	8,4
12.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	929	0,14	0,17			8,3	8,4
12.3.2012	Verkoston tarkkailupiste	931	0,05	0,12		0,0	8,2	
13.3.2012	MU puhdas	957	0,19	0,20	0	0,0	8,3	8,4
13.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	958	0,15	0,16			8,3	8,4
14.3.2012	MU puhdas	972	0,19	0,21	0	0,0	8,3	8,4
14.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	973	0,16	0,18			8,3	8,4
15.3.2012	MU puhdas	1011	0,19	0,21	0	0,0	8,3	8,4
15.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1012	0,19	0,21			8,3	8,4
16.3.2012	MU puhdas	1042	0,21	0,22	0	0,0	8,3	8,4
16.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1044	0,17	0,19			7,9	8,4
19.3.2012	MU puhdas	1062	0,20	0,22	0	0,0	7,8	8,4
19.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1064	0,18	0,20			8,3	8,4
20.3.2012	MU puhdas	1080	0,19	0,22	0	0,0	8,3	8,4
20.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1081	0,19	0,22			8,3	8,4
21.3.2012	MU puhdas	1113	0,14	0,16	0	0,0	8,2	8,4
21.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1114	0,24	0,26			7,7	8,4
22.3.2012	MU puhdas	1130	0,23	0,26	0	0,0	7,8	8,4
22.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1131	0,22	0,24			8,3	8,4
26.3.2012	MU puhdas	1171	0,22	0,25	0	0,0	8,2	8,4
26.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1173	0,19	0,21			8,2	8,4
27.3.2012	MU puhdas	1200	0,24	0,25	0	0,0	8,3	8,4
27.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1201	0,20	0,22			8,2	8,4
28.3.2012	MU puhdas	1215	0,22	0,24	0	0,0	8,3	8,4
28.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1216	0,20	0,22			8,4	8,4
30.3.2012	MU puhdas	1269	0,19	0,21	0	0,0	8,3	8,4
30.3.2012	MU puhdas Epilä-Villilä	1271	0,17	0,19			8,3	8,4

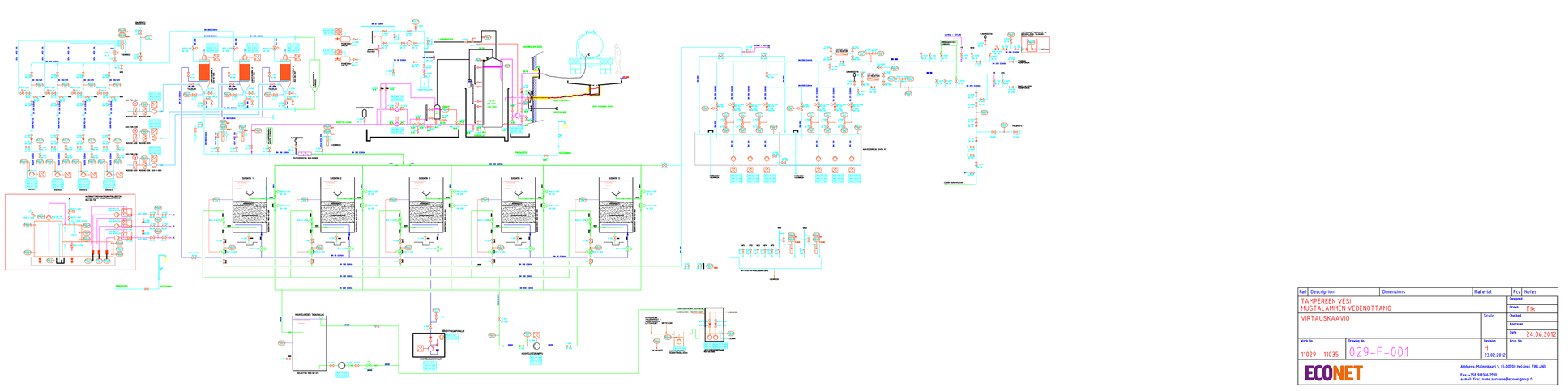
Liite 8. Kaivojen tulosten vaihteluvälit

Analyysi	Tulosten vaihteluvälit			
	Kaivo 1	**Kaivo 2**	**Kaivo 3**	**Kaivo 4**
Kolif. bakt. 37 °C pmy/100ml	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0	0,0
Pesäkel. 37 °C 2d pmy/ml	0-10	0-19	0-2	0-3
Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml	250-350	76-480	>350-450	60->1000
Hiivat CFU/100ml	0,0	0-4	0-0,8	0-8
Homeet CFU/100ml	0-runs.	45-190	0-17	18-33
Enterokokit pmy/100ml	0,0	0,0-0,3	0,0	0,0
Fek. kolit 44 °C pmy/100ml	0,0	0,0	0,0	0,3
NO_2-N µg/l	1-2	<1,0-1	1	<1,0-1
Sameus NTU	0,11-8,1	0,08-0,38	0,05-0,09	0,12-0,70
Sähk. joht. 25 °C mS/m	27,8-29,2	28,3-29,4	27,3-27,4	28,7-28,9
Alkaliteetti mmol/l	0,94-0,98	0,83-0,97	0,84-0,85	0,93-0,96
Bikarb.kov. °dH	2,6-2,7	2,3-2,9	2,4	2,6-2,7
Bikarbon. mg/l	57-58	51-64	51-52	56-59
Cl mg/l	23-28	25-35	24-25	25-27
F mg/l	0,15-0,16	0,16-0,21	0,16-0,18	0,17-0,20
Kok-P µg/l	3-5	<2,0-4	4-5	<2.0-3
Kovuus °dH	4,8-5,4	5,0-5,4	5,1-5,2	5,1-5,4
Kovuus mmol/l	0,87-0,97	0,87-0,93	0,91-0,93	0,93-0,97
NH_4-N µg/l	9-15	3	2-4	2-4
NO_3-N mg/l	1,6-1,7	1,7-2,1	1,7-1,8	2,0
PO_4-P µg/l	3-4	<2,0	3-4	<2,0
SO_4 mg/l	43-44	38-41	43-45	43-48
Väri mgPt/l	<2,5-7,5	<2,5-5	<2,5-5	<2,5-5
Al mg/l	<0,02	<0,02-0,02	<0,02	<0,02
Happi mg/l	4,0-5,0	6,3-9	4,8-4,9	4,6-5,6
pH	6,2-6,5	6,3-6,4	6,2	6,3
Fe mg/l	0,26-0,64	<0,02-0,09	0,05-0,11	<0,02-0,04
Mn mg/l	0,02-0,05	<0,010-0,02	0,06-0,09	<0,010-0,01
TOC mg/l	0,74-0,97	0,75-1,3	0,62-0,63	0,93-1,2
Lämpötila °C	9	10		
CO_2 mg/l	61	39-52	61-63	60-61
Tetrakloorieteeni µg/l	1,0	<1,0	1,0	1,3
Trikloorieteeni µg/l	9,3	7,9	10	13

Liite 9. Tulosten vaihteluvälit

	Tulosten vaihteluvälit					
Analyysi	**Puhdas vesi**	**Puhdas vesi, Epilä-Villilä**	**Raakavesi**	**Ilmastettu vesi**	**Hiekkasuodatettu vesi**	**Verkoston tarkkailupisteet**
Kolif. bakt. 37 °C pmy/100ml	0,0	0,0	0,0-0,2			0,0
Pesäkel. 37 °C 2d pmy/ml	0,0-2	0,0	0,0-120			0,0-35
Pesäkel. 22 °C 3d pmy/ml	0,0-16		39-210			0,0-29
Hiivat CFU/100ml	0		0			
Homeet CFU/100ml	0-0,5		3-9			
Enterokokit pmy/100ml						
Fek. kolit 44 °C pmy/100ml	0,0		0,0			
Cl. perfringens pmy/100ml						0
Escherichia coli pmy/100ml						0
NO_2-N µg/l	<1,0		<1,0	<1,0	<1,0	
Vap. Cl_2 lait mg/l	<0,02-0,24	0,04-0,24				<0,02-0,07
Kok. Cl_2 lait mg/l	0,04-0,26	0,07-0,30				0,03-0,12
Sameus NTU	0,06-0,18	0,09-0,16	0,04-0,16	0,12-0,2	0,04-0,07	0,05-0,24
Sähk. joht. 25 °C mS/m	28,4-29,0		27,9-28,7	28,5-28,7	28,5-28,7	14,8-29,4
Alkaliteetti mmol/l	0,87-0,96		0,88-0,91	0,88-0,91	0,86-0,88	
Bikarb.kov. °dH	2,4-58		2,5-56	2,5	2,4	
Bikarbon. mg/l	2,7-53		2,5-53	53	53	
Cl mg/l	23-26		23-27	26	26	
F mg/l	0,15-0,17		0,15-0,16	0,16	0,16	
Kok-P µg/l	<2,0-5		<2,0	5	6	
ABS 254 nm	0,010		0,012	0,013	0,008	
Kovuus °dH	5,3-5,4		5,2-5,5	5,3	5,1-5,3	2,1-5,5
Kovuus mmol/l	0,95-0,97		0,94-0,98	0,95-0,96	0,93-0,95	0,37-0,99
NH_4-N µg/l	<1,0-4		1-4	3	4	
NO_3-N mg/l	1,4-1,5		1,4-1,5	1,5	1,6	
NO_2-N µg/l	<1,0		<1,0			
PO_4-P µg/l	<2,0-5		<2,0	<2,0	4-7	
SO_4 mg/l	43-47		43-46	43	43	
Väri mgPt/l	<2,5-5		<2,5-5	5	5	<2,5-2,5
Al mg/l	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Happi mg/l	3,9-12,3		3,8-4,3	12,3-12,7		
pH	7,6-8,4	7,7-8,4	6,2-6,4	7,6-7,8	7,6	7,7-8,3
pH lait.	7,9-8,4	8,3-8,5	6,2-6,5	7,6-7,8		
Fe mg/l	<0,02		<0,02-0,1	0,05-0,07	<0,02	0,03-0,14
Mn mg/l	<0,010-0,02		<0,010-0,01	<0,010	<0,010-0,02	<0,010
TOC mg/l	0,63-0,82		0,62-0,81	0,69-0,73	0,71-0,72	0,57-0,83
Lämpötila °C	6,4-8,3	6,8-8,3	5,3-7,4	6,1-8,6	7,0-9,2	5,3-7,2
CO_2 mg/l	<1,0-8,8	2,4	2,9-65	2,2-59		
Tetrakloorieteeni µg/l	<1,0					
Trikloorieteeni µg/l	<1,0					
As µg/l	0,26					
Sb µg/l	<0,3					
Ca mg/l	24		23			
Mg mg/l	8,9		8,9			
Mg-kov. °dH	2,1		2,1			
Mg-kov. mmol/l	0,37		0,37			
Na mg/l	16		15			
K mg/l	3,6		3,4			
Ca-kov. °dH	3,4		3,2			
Ca-kov. mmol/l	0,61		0,58			
SiO_2 mg/l	16		16			
S mg/l	15		15			
Si mg/l	7,6		7,6			

Liite 10. Mustalammen pohjavesilaitoksen pi-kaavio 81



Part	Description	Dimensions	Material	Pcs	Notes
TAMPEREEN VESI					Designed
MUSTALAMMEN VEDENOTTAMO					Drawn Tlk
VIRTAUSKAAVIO			Scale		Checked
					Approved
					Date 24.06.2012
Work No. 11029 - 11035	Drawing No. 029-F-001		Revison H 23.02.2012		Arch. No.

ECONET

Address: Malminkaari 5, FI-00700 Helsinki, FINLAND
Fax: +358 9 8566 2570
e-mail: first name.surname@econetgroup.fi